

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

SOLÁRNÍ SOUSTAVA PRO RODINNÝ DŮM

SOLAR SYSTEM FOR THE DETACHED HOUSE

AUTOR PRÁCE

Bc. DAVID NĚMEC

VEDOUCÍ PRÁCE

Doc. Ing. MOJMÍR VRTEK, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Němec**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma: Solární soustava pro rodinný dům
Solar System for the Detached House

Zásady pro vypracování:

Zpracujte návrh systému pro přípravu teplé vody v rodinném domě s využitím slunečního záření, a to variantně s použitím termosolární soustavy a s použitím fotovoltaických panelů.

Práce bude obsahovat:

- 1) Stanovení potřeby tepla na přípravu teplé vody
- 2) Návrh výkonových parametrů obou koncepcí
- 3) Kapacitní a bilanční výpočty solárních zisků
- 4) Srovnání variant z energetického a ekonomického hlediska. Environmentální přínos.
- 5) Projekt termosolární soustavy vč. výkresové dokumentace se schématem zapojení a dispozičním řešením

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.

CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.

TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 5. vydání. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0-13-728098-X.

MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 844 s. ISBN 0470030372.

MATUŠKA, T. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30. 9. 2015

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 30.9.2015



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. David Němec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Papratná 595, Frenštát p. R.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu doc. Ing. Mojmíru Vrtkovi Ph.D. za cenné rady, odbornou pomoc a vstřícnost, které mi poskytl při řešení této diplomové práce.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

NĚMEC, D. *Solární soustava pro rodinný dům : diplomová práce*. Ostrava VŠB: Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2015, 53 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vrtek M.,Ph.D.

Diplomová práce je zaměřena na problematiku zdrojů tepelné energie pro přípravu teplé vody. Cílem této práce je poskytnout souhrn možností přípravy teplé vody pro rodinné domy pomocí obnovitelných zdrojů energie. Po úvodním souhrnu jednotlivých možností následuje návrh jednotlivých variant na zvolený rodinný dům. Následné návrhy jsou energeticky, ekonomicky a environmentálně vyhodnoceny. V úvodu práce je rozebrána energie Slunce, která tvoří převážnou část obnovitelné energie. Na tuto úvodní část navazuje řešerše s popisem a rozdělením typů solárních kolektorů a fotovoltaických panelů. V závěrečné části práce jsou potom provedeny jednotlivé typy vyhodnocení navrhovaných soustav.

MASTER THESIS ANNOTATION

NĚMEC, D. *Solar system for the detached house : Master Thesis*. Ostrava VŠB: Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Mechanical Department, 2015, 53 pages. Thesis head: doc. Ing. Vrtek M.,Ph.D.

This master thesis focuses on the issue of thermal energy sources which are used specifically for process water heating. The main purpose of the thesis is to provide the summary of the options of such hot water preparation for households through the usage of renewable energy. The introductory summary of individual options is followed by the drafts of these particular variants for a selected family house. Subsequently, the drafts are evaluated from an energy, economic and environmental points of view. In the introduction a solar energy is described in more details due to the fact it constitutes a vast part of renewable energy. Later on a detailed search together with a description and a division into the types of solar collectors and photovoltaic panels is given. Final part consists of the above mentioned types of evaluation for the designed drafts.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Solární energie	10
2.1	Sluneční energie a její typy	10
2.2	Znečištění atmosféry	11
2.3	Dopad slunečního záření	11
2.4	Průchod difúzního záření	12
2.5	Teoreticky možné množství energie	13
3	Solární systémy.....	14
3.1	Dělení solárních systémů	14
3.2	Rozdělení jednotlivých solárních kolektorů.....	15
3.2.1	Ploché kolektory	15
3.2.2	Vakuové trubicové kolektory.....	16
3.3	Výkon a účinnost kolektorů	17
4	Fotovoltaické panely.....	18
4.1	Typy fotovoltaických článků.....	19
4.1.1	Amorfní články	19
4.1.2	Polykrystalické panely	20
4.1.3	Monokrystalické panely.....	20
5	Návrh solárního systému pro ohřev TUV	21
5.1	Popis objektu.....	21
5.2	Dosavadní technologie přípravy TUV	22
5.3	Stanovení spotřeby teplé vody	22
5.4	Výpočet plochy a počtu kolektorů	26
5.4.1	Postup výpočtu.....	26
5.4.2	Výpočet celkové potřebné plochy.....	27
5.4.3	Návrh plochy kolektorů zrychlenou metodou	28
5.5	Návrh solárního zásobníku.....	28
6	Návrh FV systému	30
6.1	Stanovení počtu FV panelů za pomoci PVGIS	30
6.2	Účinnost a výkon.....	33
6.3	Přepočet návrhu FV panelů pomocí databáze METEONORM	35
6.4	Navrhovaná soustava	36
7	Energetické zhodnocení obou variant.....	37

7.1	Tepelná bilance solárních kolektorů	37
7.2	Bilance solárních FV panelů	40
8	Ekonomické zhodnocení soustav	43
8.1	Ekonomické přínos solárních kolektorů.....	43
8.2	Ekonomické přínos solárních FV panelů	47
8.2.1	Výpočet pro 8 FV panelů.....	47
8.2.2	Výpočet pro 16 FV panelů.....	48
8.3	Návratnost systému	48
9	Environmentální přínos.....	49
10	Závěr	50
11	Zdroje.....	51
	Seznam tabulek.....	52
	Seznam obrázků.....	52
	Seznam grafů	53
	Seznam příloh	53
	Seznam výkresů	53

Seznam zkratk

Značka	Veličina	Jednotky
a	azimut	stupeň [°]
c	stávající cena energie	Kč
h	výška slunce nad obzorem	stupeň [°]
a_1	lineární součinitel tepelných ztrát	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$
a_2	kvadratický součinitel tepelných ztrát	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$
f	počet členů	[-]
n	počet dní, počet kusů	[-]
r	reflexní schopnost	[-]
t	teplota	°C
E	množství vyrobené energie	kWh
G	sluneční ozáření na zadanou plochu	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
H	průměrné ozáření dopadající na m^2	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
I	intenzita slunečního záření	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
K	krytí	%
N	náklady	Kč
Q	teplo, tepelná energie	$\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$
S	plocha	m^2
V	objem	m^3
Z	součinitel znečištění atmosféry	[-]
FV	fotovoltaické panely	[-]
TUV	teplá užitková voda	[-]
φ	zeměpisná šířka	stupeň [°]
δ	sluneční deklinace	stupeň [°]
υ	časový úhel	stupeň [°]
α	rovinný úhel	stupeň [°]
τ	čas, časový interval	h, den, rok
η	účinnost	[-]

1 Úvod

S rozvojem naší moderní společnosti se nemálo zvyšují energetické nároky na potřebu jednotlivých druhů energií, jde převážně o elektrickou a tepelnou energii. Na výrobě jak tepelné nebo elektrické energie se v současné době dosud podílejí převážně neobnovitelné zdroje energie uhlí, ropa nebo zemní plyn. V posledních letech, se ale ve větší míře začalo hovořit o náhradě těchto neobnovitelných zdrojů energie, zdroji obnovitelnými tedy alternativními. Náhrada není jen následkem čím dál většího úbytku fosilních paliv, další zásadní vliv má škodlivý dopad spalování jednotlivých paliv na životní prostředí.

Energie slunečního záření můžeme využít k transformaci na:

- Elektrickou energii
- Tepelnou energii
- Chemickou energii

Hlavním cílem této diplomové práce je návrh a porovnání jednotlivých systémů určených pro přípravu TUV, a to za pomoci obnovitelných zdrojů, respektive energie slunečního záření. Návrhu jednotlivých řešení předchází část, ve které jsou shrnuty poznatky týkající se obecně teorii slunečního záření. Na část týkající se energie potřebné pro navržené systémy navazuje souhrn a popis jednotlivých následně navrhovaných variant solárních systémů. V části týkající se návrhu jednotlivých dispozičních řešení je v práci uvedena krátká charakteristika rodinného domu, na který bude proveden konkrétní návrh. Návrhu předchází výpočet energetických nároků na přípravu teplé užitkové vody. Tento výpočet je nezbytný pro následný návrh zvolených systémů a jejich následné jednotlivé bilance (energetická, ekonomická a environmentální). Na základě potřebné energie pro ohřev TUV a hodnot z meteorologické databáze Meteonorm pro lokalitu města Frenštátu pod Radhoštěm jsou vypočteny hodnoty pro dimenzování jednotlivých možných řešení. V závěru návrhu celé práce jsou shrnuty jednotlivé aspekty a provedeno jejich jednotlivé porovnání a vyhodnocení.

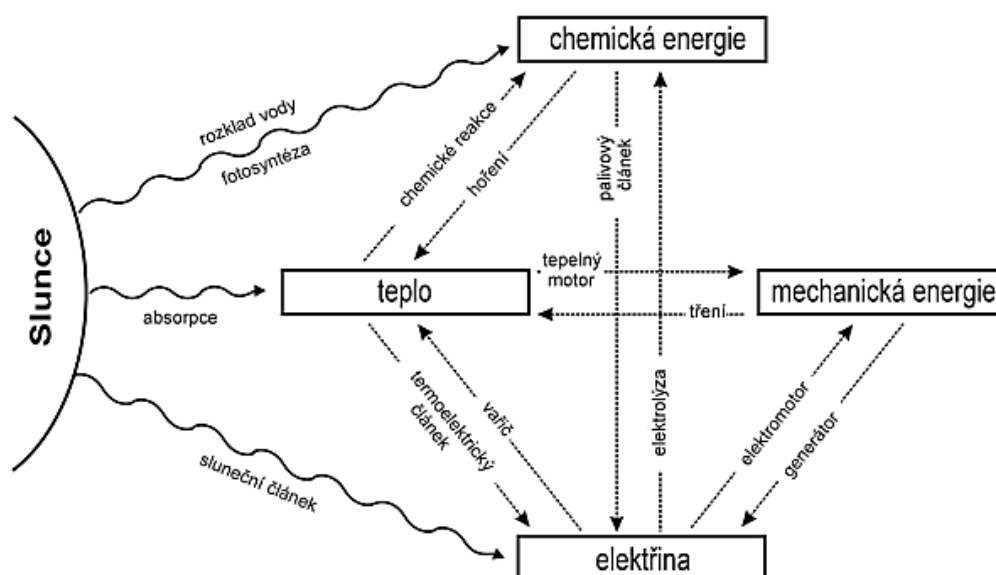
2 Solární energie

Slunce je téměř veškerým zdrojem energie, která se vyskytuje na naší Zemi. V porovnání s naší planetou je Slunce přibližně 109 krát v průměru větší. Energie, která dopadá na povrch naší planety je vyzařována Sluncem z jeho povrchu zvaného fotosféra, která má teplotu přibližně 6 000 K. Nositelem sluneční energie jsou fotony, které nesou energii ve formě záření. Záření dopadající kolmo na hranici naší atmosféry je označován jako měrný tepelný tok (sluneční konstanta). Hodnota energie tohoto slunečního toku, který neustále dopadá na naši planetu, má velikost $1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Z tohoto celkového množství sluneční energie dopadající na povrch planety, je odraženo přibližně 34% energie zpět do vesmíru. Zbývá část záření je naší planetou pohlcena. [1] [2]

2.1 Sluneční energie a její typy

Záření, které dopadne na zemský povrch můžeme teoreticky přeměnit na jednu z těchto energií:

- energii tepelnou - *pohlcení slunečního záření danou plochou*
- energii elektrickou - *přeměna sluneční energie pomocí fotovoltaického jevu*
- energii chemickou - *tato přeměna se v přírodě vyskytuje jako fotosyntéza*
- energii mechanickou - *energie fosilních paliv, kinetická energie větru, potenciální energie vody, energie domácích zvířat apod.*



Obr. 2.1. Možnosti transformace sluneční energie [2]

2.2 Znečištění atmosféry

Průchodem slunečního záření atmosférou je intenzita procházející energie zmenšována. Záření je zmenšováno jednak odrazem o molekuly prachů a plynů obsažených v naší atmosféře, a jednak absorpcí záření víceatomovými plyny jako například CO₂, H₂O nebo O₃. Mezi další ovlivňující faktory patří nadmořská výška, zeměpisná šířka a pozice slunce nad naším obzorem. Informaci o velikosti zmenšení intenzity slunečního záření, která má na hranici naší atmosféry má velikost $I_0 = 1\,360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, je dána součinitelem znečištění Z , který popisuje Linkeho vztah. [1]

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_\varepsilon} \quad (2.1)$$

kde:

I_0 – sluneční konstanta

I_n – intenzita slunečního záření dopadající na kolmou plochu při daném znečištění ovzduší

I_ε – intenzita slunečního záření dopadající na kolmou plochu při dokonale čistém ovzduší

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Z-(horská oblast)	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,3	2,3	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5
Z-(venkov)	2,1	2,2	2,5	2,9	3,2	3,4	3,5	3,3	2,9	2,6	2,3	2,2
Z-(města)	3,1	3,2	3,5	4,0	4,2	4,3	4,4	4,3	4,0	3,6	3,3	3,1
Z-(průmysl)	4,1	4,3	4,7	5,3	5,5	5,7	5,8	5,7	5,3	4,9	4,4	4,2

Tab. 2.1. Hodnoty součinitele znečištění dle: [1]

2.3 Dopad slunečního záření

Vzájemnou polohou Slunce nad naším obzorem a osluněné plochy je dán směr dopadu slunečních paprsků. Osluněná plocha se vyznačuje stálou polohou vůči její orientaci ke světovým stranám a daným úhlem sklonu. Na rozdíl od osluněné plochy se poloha Slunce nad naším obzorem s časem mění. Poloha Slunce je v každém okamžiku daná aktuální výškou nad obzorem a daným azimutovým úhlem. Jedná se o orientovaný úhel, daný směrem hodinových ručiček s orientací od jihu. [1]

Následující vztahy popisují výpočet výšky Slunce nad obzorem a daného azimutového úhlu:

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos v \quad (2.2)$$

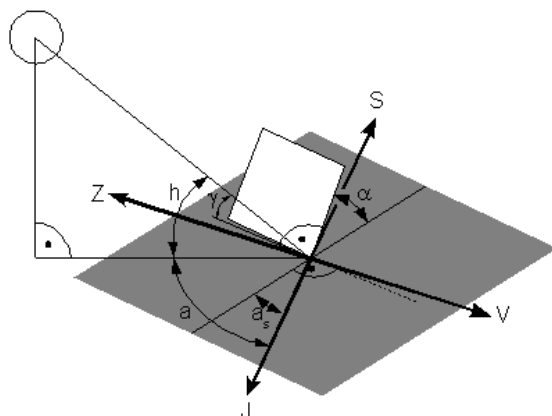
$$\sin a = \frac{\cos \delta}{\cos h} \cdot \sin \tau \quad (2.3)$$

kde:

δ – sluneční deklinace

φ – zeměpisná šířka

v – je časový úhel



h – výška slunce nad obzorem

a – azimut

a_s – azimut osluněné plochy

α – sklon plochy od vodorovné roviny

Obr. 2.2. Geometrie dopadu slunečního záření [11]

2.4 Průchod difúzního záření

Difúzním zářením se rozumí právě ta část slunečního záření, která je snížena průchodem atmosférou. Ke snížení záření dochází již zmíněnými způsoby, a to odrazem paprsků o různé částice obsažené v atmosféře, nebo pohlcením záření víceatomovými plyny. Toto záření dopadá na povrch naší planety například při zatažené obloze.

Stanovit intenzitu difúzního záření můžeme stanovit dle následujícího vztahu:

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (2.4)$$

kde:

α – úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné rovin

r – reflexní schopnost osluněné plochy pro sluneční paprsky

I_{ph} – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu

I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu

2.5 Teoreticky možné množství energie

Skladbou a následným součtem přímého a difúzního solárního záření dostaneme celkovou hodnotu záření, které dopadá na plochu pod vrstvou atmosféry. Největší intenzitu tohoto slunečního záření dopadajícího na zemský povrch bychom naměřili za jasného dne. Teoretické množství sluneční energie vyzářené Sluncem během jednoho slunného dne získáme použitím vzorce 2.5. Za předpokladu nepřetržitého slunečního svitu, kdy Slunce svítí od svého východu, až do západu můžeme stanovit teoretické množství dopadající sluneční energie na danou plochu. [1]

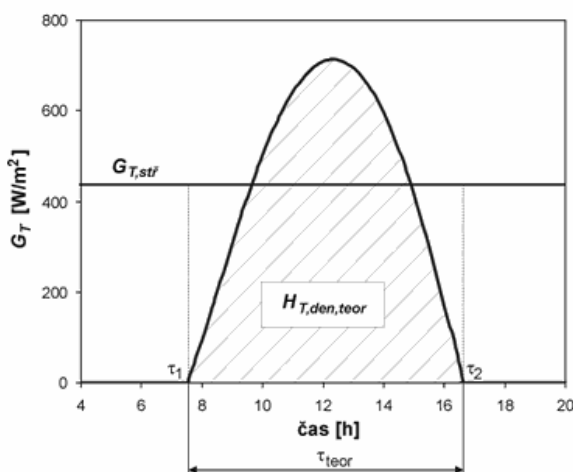
Výpočet teoretického množství dopadající energie na jednotku plochy za den:

$$Q_{S\text{ teor den}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \cdot d\tau \quad [kWh/(m^2 \cdot \text{den})] \quad (2.5)$$

kde:

τ_1, τ_2 – označují čas východu a západu Slunce

I – udává intenzitu slunečního záření



Obr. 2.3. Dopad sluneční energie na plochu m^2 za jasného dne [11]

3 Solární systémy

Je to systém, který získanou sluneční energii přeměňuje na energii tepelnou. Základem termického solárního okruhu je kolektor, spojovací potrubí a spotřebič. Jako samotný spotřebič se většinou používá bojler, tepelný zásobník, bazén a podobně. Tyto systémy se zpravidla dimenzují pro pokrytí tepelných nároku spotřebitele především v teplejších měsících roku, pro zbylé období by měla být dodávka tepelné energie obstaraná z jiného zdroje.

3.1 Dělení solárních systémů

V současné době můžeme rozeznat několik druhů aktivních solárních panelů a jejich konstrukčních řešení. Tato zařízení hrají velmi důležitou roli mezi alternativními zdroji energie v celosvětovém měřítku. Obecně tyto aktivní solární systémy dělíme:

Podle teplotního média:

- Systémy využívající vodu nebo nemrznoucí směs
- Systémy využívající vzduch

Podle způsobu využití získané energie:

- Systémy pro ohřev teplé užitkové vody
- Systémy pro ohřev bazénu
- Systémy pro vytápění
- Systémy pro chlazení a klimatizaci

Kvůli jejich současnému velice kvalitnímu a technicky propracovanému provedení jsou solární systémy hojně využívány především pro přípravu TUV nejen v rodinných domech. Z ekonomického hlediska je dosti výhodné instalovat solární soustavy dokonce i na bytové domy. Bytové domy mají v porovnání s rodinnými domy nižší jak investiční tak i provozní náklady na jednotkové množství vyrobené energie. Poměrně značnou výhodou investice do solárních systémů je jejich dlouhá životnost. Životnost u běžných panelů dosahuje hranice minimálně 20 let. Solárními kolektory je možno v ročním průměru ušetřit 50 až 60 % energie potřebné na přípravu TUV ekologickým a ekonomickým způsobem. Voda v kolektorech dokáže ohřát vodu v zásobnících na požadovanou teplotu (obvyklá teplota podle norem 50 - 60 °C). [3] [4]

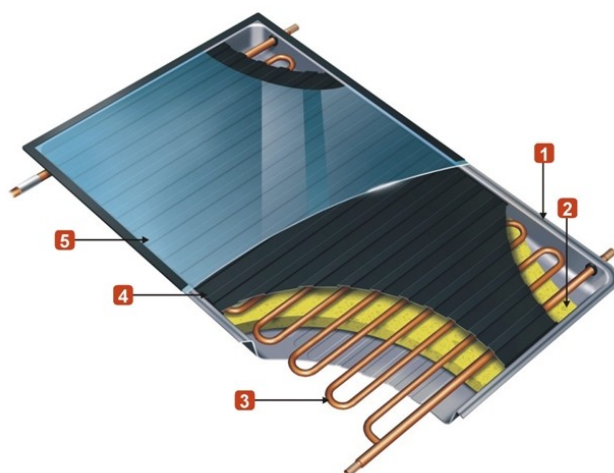
3.2 Rozdělení jednotlivých solárních kolektorů

Za solární kolektory můžeme považovat zařízení, které zachycující dopadající sluneční energii, a za pomoci sběrače (absorbéru) ji předávají teponosné látce. Sluneční záření dopadající na plochu solárního kolektoru je absorpční plochou pohlceno a přeměněná v teplo o takzvaném nízkém potenciálu. Zachycená energie je následně předána teponosnému médium a potrubím odvedena do zásobníku.. Na trhu se vyskytuje několik konstrukčních typů jednotlivých solárních kolektorů. Nejčastěji tyto kolektory dělíme podle toho, jakým způsobem nám absorbují dopadající sluneční záření.

3.2.1 Ploché kolektory

Tento typ plochých kolektorů se vyznačuje především svou plochou zasklení. Zasklená plocha bývá z pravidla vyrobena ze speciálního tvrzeného skla. Tvrzená skla musí být vyrobena tak, aby nejen vzdorovala vůči poškození, ale taky je u nich kladen důraz na vysokou propustnost solárního záření. Přední absorpční plocha kolektoru bývá opatřena velice selektivní vrstvou. Selektivní vrstva velice dobře absorbuje záření, ale její další vlastností je, že záření nevyzažuje zpět. Jednotlivé absorpční plochy kolektorů bývají buď laserově, ultrazvukově nebo jednoduše nalisovány na trubkový registr. Dále je kladen velký důraz na samotnou tepelnou izolaci, která zmenšuje tepelné ztráty a zvyšuje účinnost daných solárních panelů. Obvyklá tloušťka izolace se pohybuje v rozmezí 2 - 6 cm. Veškeré tyto části kolektorů (absorpční plocha, trubkový registr, izolace) bývají uloženy do jednoho zvenčí uzavřeného rámu nazvaného kolektorová skříň. Rámy bývají většinou složeny jednotlivých profilů. Na trhu se však můžeme také setkat celými vyliisovanými rámy. Obrázek 3.1 popisuje základní schéma plochého kolektoru.

Dalším nabízeným typem solárních kolektorů jsou panely s **plastovými absorbéry**. Tyto typy solárních panelů jsou vhodné především pro ohřev vody v bazénu.. Plastové absorbéry jsou většinou zhotoveny z černých plastových materiálů obsahujícími přísady proti UV záření. Tyto kolektory se prokazují svou vysokou účinností pouze v letním období, kdy je okolní vzduch teplý, a tepelné ztráty jsou velmi malé. [3][4]



Kde:

1 – rám kolektoru

2 – tepelná izolace

3 – trubkový registr

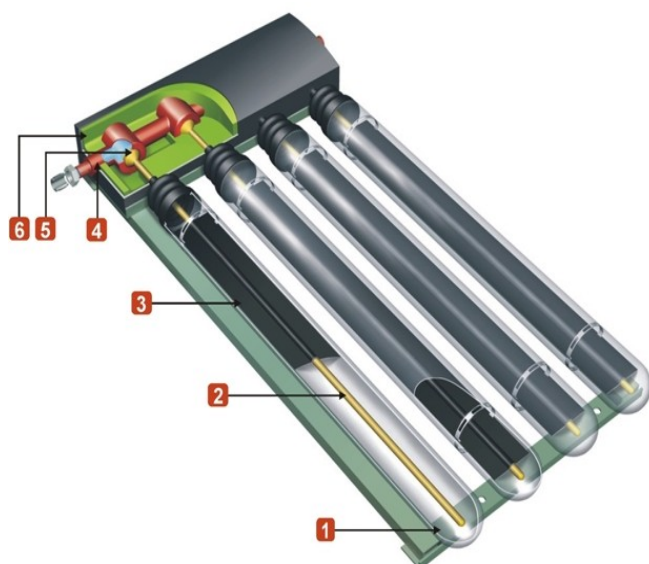
4 – absorbér

5 – solární sklo

Obr. 3.1. Schéma plochého solárního kolektoru [12]

3.2.2 Vakuové trubicové kolektory

V této kategorii můžeme nalézt panely, které mají absorbér vložen do skleněné trubice s vakuem. Tento typ kolektorů disponuje poměrně vysokou účinností a nízkou tepelnou ztrátou. Malá tepelná ztráta je zaručena vakuem, které slouží jako tepelná izolace (ztráta tepla pouze radiací). Díky vakuu mohou kolektory získávat tepelnou energii i v obdobích s nižšími venkovními teplotami, nebo při snížené intenzitě slunečního záření. Mezi další významnou výhodu těchto systémů patří válcová absorbní plocha. Tento válcový tvar dává kolektorům nezávislost na úhlu dopadajících slunečních paprsků. [3] [4]



kde:

1 – vakuová trubice

2 – tepelná trubice „Heat Pipe“

3 – absorbér

4 – výměník tepla

5 – sběrač teplonosné kapaliny

6 – tepelná izolace

Obr. 3.2. Schéma vakuového trubicového solárního kolektoru [12]

3.3 Výkon a účinnost kolektorů

Jednotlivé typy solárních kolektorů plní svou hlavní funkci v podstatě stejně: absorbují dopadající sluneční záření, a následně ho přemění na energii tepelnou. Jednotlivé rozdíly solárních zisků daných konstrukčních provedení, jsou dány zabráněním tepelným ztrátám. Zvolený výkon a účinnost jsou dány optickou a tepelnou vlastností využít sluneční záření dopadající na plochu kolektorů.

Technická dispozice kvalitních kolektorů:

- spektrálně selektivní vrstvu
- kovový absorbér s vysokou vodivostí
- zasklení s vysokou propustností slunečního záření
- kvalitní tepelnou izolaci

Účinnost solárních panelů je potom vypočtena poměrem mezi tepelným výkonem a „příkonem“ solárního záření, které dopadá na vztažnou plochu kolektoru. [3]

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{I \cdot S_k} \quad (3.1)$$

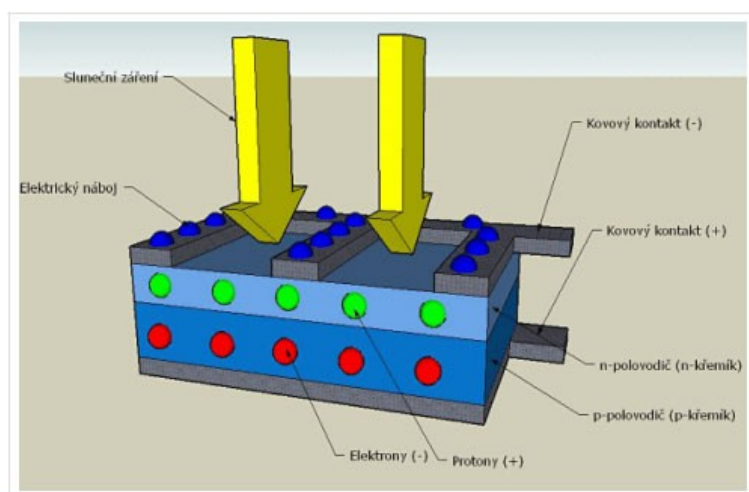
kde:

I – sluneční ozáření [W/m^2]

S_k – vztažná plocha kolektoru [m^2]

4 Fotovoltaické panely

Fotovoltaika je technologie sloužící pro přímou přeměnu přímého slunečního záření na elektrickou energii (stejnosměrný proud). V podstatě se jedná o jeden z mála zdrojů elektrické energie, které nevyužívají pohyblivé části. Sluneční záření ve formě fotonů dopadá na vhodný polovodičový materiál např. křemík, který je složen ze dvou vrsev. Tyto vrstvy společně obsahují polovodičový přechod P - N. Jedna vrstva disponuje přebytkem elektronů vrstva nazývaná jako vrstva N, druhá vrstva P má na rozdíl od předchozí vrstvy elektronů nedostatek, vytváří tzv. díry. Přechod mezi těmito vrstvami se nazývá polovodičová (potenciálová) brána. Přechod zabraňuje přenosu elektronů z jedné do druhé vrstvy. Dopadem slunečního záření, respektive fotonů se z polovodičové krystalické mřížky začínají uvolňovat volné elektrony. Volné elektrony nemohou díky polovodičovému přechodu P - N přecházet do druhé vrstvy. Polovodičový přechod umožňuje snadnější přechod elektronů v opačném směru tedy směnu N - P. [7]



Obr. 4.1. Schéma fotovoltaického článku [7]

„V roce 1839 učinil tehdy teprve devatenáctiletý vědecký elév významný objev, který našel praktické využití až po 120 letech. Do nádoby rozdělené průlinčitou stěnou vložil dvě platinové elektrody a obě části nádoby naplnil elektrolytem. Elektrody připojil k citlivému galvanometru a nádobu světlotěsně zakryl. Ručička galvanometru nevykazovala žádnou výchylku. Jakmile však sejmul z nádoby víko a osvětlil elektrody, objevilo se mezi elektrodami napětí a tuto změnu zaznamenal galvanometr. Sestava elektrod a elektrolytu se při osvětlení stala zdrojem napětí - A. Becquerel objevil fotovoltaiický jev. Poprvé byla pozorována přímá přeměna světelné energie na elektrinu.“[6]

4.1 Typy fotovoltaických článků

Podle použité technologie a použitých materiálů můžeme fotovoltaické články rozdělit do mnoha skupin. Pro účely použití FV panelů v domácnostech, solárních elektrárnách budeme vycházet z předpokladu, že panely budou obsahovat křemíkové články, a to polykrystalické nebo monokrystalické. Mezi další typy patří FV články využívající polovodičové prvky jako Kadmium, Galium, Arsen. Můžeme se ovšem také setkat s organickými sloučeninami na polovodičové bázi, ty jsou velmi náročné na výrobu a zatím se zpravidla používají pro laboratorní účely.

Dělení jednotlivých FV článků:

- Amorfní
- Polykrystalické
- Monokrystalické

Další typy článků, které se běžně používají:

- CIS (CuInSe)
- z teluridu kademnatého
- z galiumarsenidu (GaAs)
- vícepřechodové struktury
- organické

4.1.1 Amorfní články

Základem amorfního fotovoltaického článku je křemíková vrstva. Moduly z amorfního křemíku jsou vyráběny tak, že je ve vakuové komoře při teplotách okolo 200 °C napařením nanesená vrstva amorfního křemíku na skleněnou tabuli nebo plast či kov. Tyto panely dosahují oproti monokrystalickým panelům přibližně poloviční účinnosti. Amorfní solární panely jsou odlišné také svým vzhledem. Velkou výhodou panelů s amorfním křemíkem je, že s rostoucí teplotou neklesá tak výrazně účinnost jak je tomu klasických křemíkových panelů. V letních měsících je z těchto panelů lepší výtěžnost. Tenkovrstevné panely mají také vyšší citlivost na rozptýlené sluneční záření. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 5 - 9 %. Tyto články jsou nejlevnější a bývají většinou použity v místech, kde nejsme nijak omezení prostorem. [7]

4.1.2 Polykrystalické panely

Polykrystalické FV solární panely mají zpravidla modrý odstín. Plocha solárních kolektorů je nerovnoměrná a rohy jsou ostré. Při výrobě se roztavený křemík slisuje do kokily, jednotlivé krystaly tedy mají různou polohu. Solární elektrárna složená z těchto panelů má poměrně rovnoměrnější výkon. Oproti monokrystalickým panelům mají nepatrně nižší účinnost, jejich výroba je levnější. Tyto panely však lépe zvládají proměňovat difuzní záření. Díky této vlastnosti jsou schopny konkurovat panelům monokrystalickým. Obvykle bývají nepatrně levnější. [7]

4.1.3 Monokrystalické panely

Na rozdíl od panelů polykrystalických, které mají modrý odstín mají monokrystalické solární panely většinou tmavý odstín do hněda až černa. Plocha článků bývá stejnoměrná, a rohy bývají oblé. Je viditelná síť kovových vodičů, které tvoří horní kontakt. S použitím koncentrátoru můžeme dosáhnout účinnosti až 30 %. Nejčastěji se používají monokrystalické články, které jsou vyrobené z křemíku. Do této skupiny spadají také články na bázi arzenidu galia. V laboratorních podmínkách můžeme dosáhnout účinnosti až 24 %, v praxi je však dosahováno účinnosti v rozmezí 14 - 16 %. Tyto panely se převážně hodí tam, kde je zaručena ideální orientace a sklon. [7]

5 Návrh solárního systému pro ohřev TUV



Obr. 5.1. Poloha a umístění rodinného domu [13]

5.1 Popis objektu

Objekt, na kterém bude proveden návrh solárního systému pro ohřev teplé užitkové vody se nachází v chráněné krajinné oblasti Moravskoslezských Beskyd poblíž města Frenštátu pod Radhoštěm. Rodinný dům pro který bude systém navržen, se nachází v nadmořské výšce 475 m n. m., zeměpisná šířka objektu je $49^{\circ} 31' 57''$. Dům byl postaven v devadesátých letech dvacátého století, jako dvoupodlažní budova se sedlovou střechou.

Parametry pro lokalitu Frenštátu pod Radhoštěm:

- nadmořská výška objektu: 475 m n. m.
- zeměpisná délka: $18^{\circ} 11' 26''$
- zeměpisná šířka: $49^{\circ} 31' 57''$
- sklon kolektorů od horizontální roviny: 45°
- azimutový úhel (a_s): 0°
- průměrný roční dopad slunečního záření: 944 – 972 kWh/m²
- roční průměrná doba slunečního záření: 1348 – 1445 hod
- roční průměrný počet bezoblačných dní: 56 – 61 [8] [9]

5.2 Dosavadní technologie přípravy TUV

Dosavadní systém pro ohřev teplé užitkové vody je řešen kombinovaným zásobníkem o objemu 200 l. V otopném období obstarává potřebnou tepelnou energii kotel na tuhá paliva Viadrus o výkonu 25 kW. V letním období je využívána elektrická topná vložka s instalovaným výkonem 2000 W.

Druh budovy	$V_{w,f,den}$ [l/(jednotka*den)]	Měrná jednotka
Rodinný dům	40 až 50 - zvoleno 45	obyvatel
Bytový dům	40	obyvatel
Ubytovací zařízení	28	lůžko
Jedno hvězdičkový hotel	70	lůžko
Restaurace	10 až 20	jídlo
Kavárna	20 až 30	místo k sezení
Domov mládeže	50	lůžko
Domov pro seniory	40	lůžko
Nemocnice bez prádelny	56	lůžko
Administrativní budova	10 až 15	osoba
Škola	5 až 10	osoba

Tab. 5.1. Specifické spotřeby teplé vody o 60°C podle ČSN EN 15316-3-1 [10]

5.3 Stanovení spotřeby teplé vody

Návrh solárního systému, určeného pro ohřev vody musí vždy vycházet z požadované spotřeby. Požadovaná potřeba tepla pro ohřev vody se vždy stanovuje k danému časovému období. Jelikož nejsou k dispozici reálná měřená data spotřeby teplé vody, bude návrh vycházet z orientačních hodnot spotřeby stanovené dle: ČSN EN 15316-3-1 viz. tabulka 5.1. Následující výpočet bude proveden pro předpokládaný ohřev studené vody z teploty 10 °C na 60 °C.

Stanovení potřeby tepla:

$$V_{den} = V_{W,f,den} \cdot f [m^3] \quad (5.1)$$

$$Q_{W,den} = \frac{\rho \cdot c \cdot V_{W,den} (t_2 - t_1)}{3600} [kWh] \quad (5.2)$$

$$Q_{W,den,Z} = \frac{Q_{W,den,Z}}{1 - 0,1} [kWh] \quad (5.3)$$

$$Q_{W,měsíc,Z} = Q_{W,den,Z} \cdot n [kWh/měs] \quad (5.4)$$

$$Q_{W,rok,Z} = Q_{W,den,Z} \cdot 365 [kWh/rok] \quad (5.5)$$

kde:

n – počet dní v jednotlivých měsících

t_1 – teplota vstupní (studené) vody [~ 10 °C]

t_2 – teplota teplé (ohříváné) vody [~ 60 °C]

t_s – střední teplota vody [~ 50 °C]/ předpoklad

f – počet osob

V_{os} – celková spotřeba teplé vody na osobu

$Q_{W,den}$ – spotřeba tepla na den [kWh]

$Q_{W,měsíc}$ – spotřeba tepla za jednotlivý měsíc [kWh]

$Q_{W,měsíc,Z}$ – spotřeba tepla za jednotlivý měsíc + počítané ztráty 10% [kWh]

$Q_{W,rok,Z}$ – spotřeba tepla za jednotlivý měsíc + počítané ztráty 10% [kWh]

Zadané hodnoty:

$$\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$c = 4,182 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_1 = 10 \text{ °C}$$

$$t_2 = 60 \text{ °C}$$

$$V_{os} = 45 [l/den]$$

$$f = 4 \text{ osoby}$$

Výpočtem z rovnic (5.1 - 5.5) dostaneme:

$$V_{den} = V_{os} \cdot f = 45 \cdot 4 = 180 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1} = 0,18 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$$

$$Q_{W,den} = \frac{\rho \cdot c \cdot V_{W,den} (t_2 - t_1)}{3600} = \frac{1000 \cdot 4,182 \cdot 0,18(60 - 10)}{3600} = 10,46 \text{ kWh}$$

$$Q_{W,den,Z} = \frac{Q_{W,den}}{1 - 0,1} = \frac{10,46}{0,9} = 11,62 \text{ kWh}$$

$$Q_{W,měsíc,Z} = Q_{W,den,Z} \cdot n = 11,62 \cdot 31 = 360,12 \text{ kWh/měs}$$

$$Q_{W,rok,Z} = Q_{W,den,Z} \cdot n = 11,62 \cdot 365 = 4,241 \text{ MWh/rok}$$

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
f	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
V_{os} [l/os]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
V_{den} [m ³]	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
$Q_{W,den}$ [kWh]	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
$Q_{W,den,z}$ [kWh]	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
$Q_{W,měsíc,z}$ [MWh]	0,36	0,32	0,36	0,34	0,36	0,34	0,36	0,36	0,34	0,36	0,34	0,36

Tab. 5.2. Tabulka spotřeby energie pro ohřev TUV za jednotlivé měsíce

Navrhovanými zařízením budou solární kolektory KPS11+ od společnosti Regulus. Jedná se o ploché kolektory s plochou apertury 2,31 m². Solární kolektory budou na šikmé střeše pod úhlem $\alpha = 45^\circ$. Azimutový úhel (odklon od jihu) $a = 0$.

Technická specifikace zvolených panelů:

Rozměry a váhy	
výška x šířka x tloušťka	2030 x 1230 x 92 mm
stavební šířka	1280 mm
celková plocha	2,49 m ²
plocha apertury	2,31 m ²
plocha absorberu	2,31 m ²
hmotnost bez kapaliny	50 Kg
Zasklení	
material	kalené prizmatické sklo
tloušťka	4 mm
Absorbér	
materiál	hliník, tl. 0,5 mm
povrchová úprava	TiNOx
konstrukční typ	lyrový, laserově svařovaný
materiál přípojovacích trubek	měď
rozměr přípojovacích trubek	4 x Ø 22 mm x 0,5 mm
materiál trubek absorberu	měď
rozměr trubek absorberu	11 x Ø 8 mm x 0,7 mm
maximální pracovní tlak	10 bar
maximální pracovní teplota	120 °C
stagnační teplota	196 °C
teplonosná kapalina	vodní roztok propylenglykolu
doporučený průtok	60 - 120 l/h
Tepelná izolace	
materiál izolace	minerální vlna
tloušťka izolace	40 mm
Rám	
materiál rámu	hliníková slitina
barva rámu	RAL 7039
zadní plech	hliníková slitina tl. 0, 5mm
Okamžitá účinnost na plochu: apertury / absorberu	
η_0	0,79 / 0,79
a_1	3,48 / 3,48 W/m ² K
a_2	0,0056 / 0,0056 W/m ² K ²

Tab. 5.3. Technická specifikace kolektorů KPS11+ [14]

5.4 Výpočet plochy a počtů kolektorů

Návrh tepelných solárních kolektorů bude obsahovat výpočet celkové plochy apertury potřebné pro pokrytí potřeb tepla pro přípravu TUV. Vztažná plocha bude určena pro referenční období, ve kterém bude požadováno pokrytí tepla solárními kolektory.

5.4.1 Postup výpočtu

Výpočet bude vycházet z výpočtu průměrné účinnosti zvolených solárních kolektorů podle vzorce:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{SV} - t_e}{GG_K} - a_2 \cdot \frac{(t_s - t_e)^2}{GG_K} \quad (5.6)$$

Potom celková energie zachycená plochou kolektorů:

$$Q_C = \eta \cdot GG_K \quad (5.7)$$

Potřebná plocha apertury pro daný měsíc:

$$S_{SK} = \frac{Q_C}{Q_{W,měsíc,Z}} \quad (5.8)$$

Výpočet stanovené celkové počtu solárních kolektorů:

$$n_{SK} = \frac{S_{SK}}{S_A} \quad (5.9)$$

kde:

t_e – venkovní teplota vzduchu v době slunečního svitu [$^{\circ}\text{C}$]

t_{SV} – střední teplota ohřívání vody [$^{\circ}\text{C}$]

GG_K – globální záření na zadanou plochu [W/m^2]

$Q_{W,měsíc}$ – potřeba tepla za jednotlivý měsíc [kWh]

S_A – plocha apertury udávaná výrobcem

Teoretická velikost množství energie dopadající na osluněnou plochu se zpravidla stanovuje za předpokladu jasného dne (nepřetržitý sluneční svit po teoreticky možnou dobu). Pro naši oblast, tedy oblast 50 ° severní šířky je běžným jevem střídání jasné a oblačné oblohy. V našich klimatických podmínkách je celková doba slunečního svitu, dopadajícího na vodorovnou plochu v rozmezí 1 700 až 2 200 hod / rok. Tato doba slunečního svitu je však nerovnoměrně rozložena mezi jednotlivými měsíci. [1]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
τ [hod]	73	92	162	209	298	291	309	296	211	144	67	27
t_v [°C]	-1,1	0,9	4,5	10	18,9	18,1	20,1	24,5	15,1	8	1,1	-5,2
$GGh_{\text{m\acute{e}s\acute{ic}}}$ [kWh/m ²]	24,9	42,1	74,8	110,1	152,6	149,9	155,6	137,9	85,4	57,8	25,5	17,5
GBn [kWh/m ²]	795	897	887	915	943	941	888	901	938	923	835	825

Tab. 5.4. Průměrné hodnoty ozáření pro stanovené plochy

kde:

t_v – průměrná venkovní teplota [°C]

τ – doba slunečního svitu v jednotlivých měsících [hod]

GG_h – globální záření na horizontální plochu [kWh /m²]

GG_n – přímé ozáření ve směru normály [kWh /m²]

5.4.2 Výpočet celkové potřebné plochy

Základním parametrem pro solární soustavy sloužící buď pro přípravu teplé vody, nebo pro komplikované zařízení využívající tepelnou energii, je velikost plochy absorbéru daného solárního panelu. Návrh absorpční plochy zpravidla vychází ze stanovené potřeby tepla. Návrh plochy solárních kolektorů pro danou aplikaci se provádí pro referenční den v období, ve kterém je požadováno, buď úplné nebo částečné pokrytí potřebného tepla.

Technické parametry zvoleného kolektoru vztaženo na plochu apertury:

- optická účinnost: $\eta_0 = 0,79$
- lineární ztrátový součinitel: $a_1 = 3,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- kvadratický ztrátový součinitel $a_2 = 0,0056 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$

Výpočtem z rovnice získáme účinnost solárního kolektoru v daném referenčním období. Vynásobením účinnosti s reálným ozářením získáme výslednou zachycenou energii plochou m^2 zvolených solárních kolektorů.

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_c [kWh/m ²]	21,04	28,52	50,02	66,14	91,24	88,70	95,85	96,72	56,18	42,61	18,52	6,87

Tab. 5.5. Reálná zachycená energie plochou m^2 solárních panelů

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
S_{SK} [m ²]	17,11	11,42	7,23	5,27	3,95	4,02	3,76	3,72	6,13	8,45	18,81	52,4
n [ks]	7,41	4,94	3,12	2,28	1,71	1,74	1,62	1,61	2,66	3,66	8,14	22,69

Tab. 5.6. Výsledná potřebná plocha kolektorů v jednotlivých měsících

5.4.3 Návrh plochy kolektorů zrychlenou metodou

Pro orientační návrh celkové plochy absorbéru můžeme použít takzvaný zjednodušený návrh solární soustavy. Tento návrh vychází z letité zkušenosti návrhu a provozu solárních soustav sloužících pro ohřev TUV. Návrh předpokládá 1 - 1,5 m^2 plochy kolektoru na osobu. Toto pravidlo vyhovuje pro dimenzování soustav se solárním krytím 40 - 60 %. Toto návrhové pravidlo je pouze orientační a poskytuje jen velmi hrubou představu potřebné plochy a následné investice do daného systému. [15]

Orientační výpočet potřebné plochy solárních kolektorů:

$$S_{SK} = 1,5 \cdot 4 = 6 \text{ m}^2$$

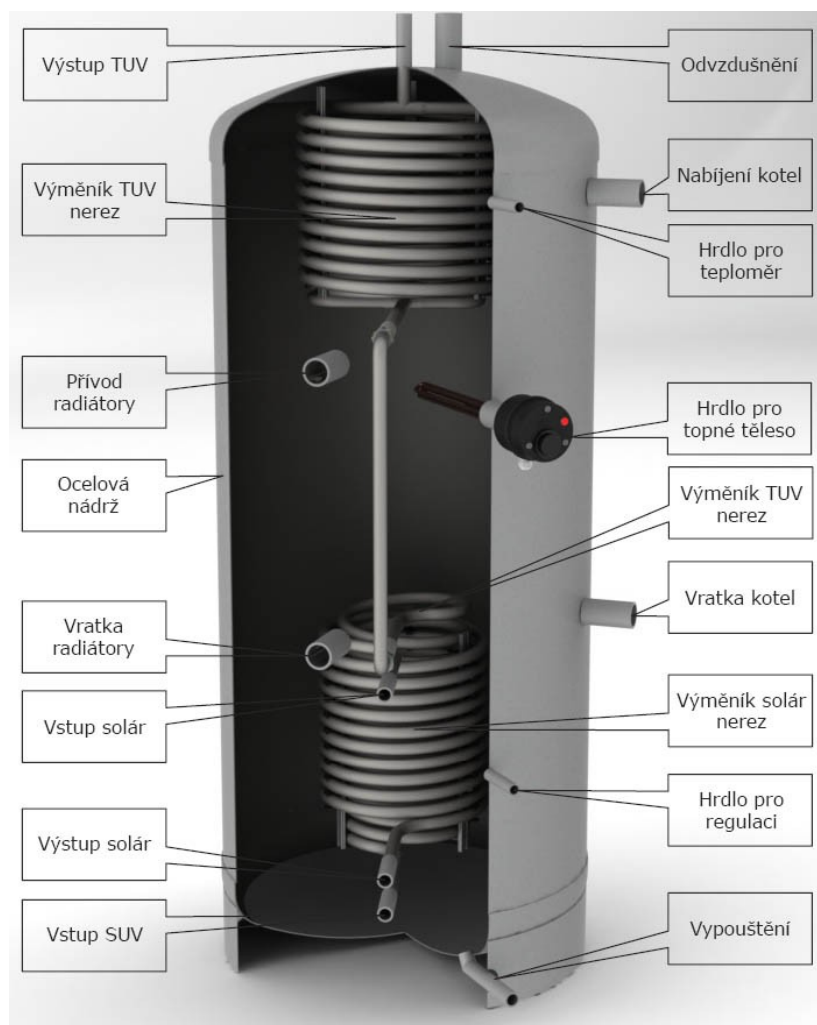
Z výsledku orientačního výpočtu plochy solárních kolektorů vyplývá, že daná soustava o ploše 6 m^2 by mohla pokrýt nároky na přípravu TUV od dubna do září.

5.5 Návrh solárního zásobníku

Volba velikosti a typu akumulčního zásobníku vychází z požadované denní spotřeby teplé vody v daném objektu. Výpočtem v kapitole 5.3 jsme zjistili, že minimální objem zásobníku by měl mít velikost 180l. Takto zvolená velikost objemu zásobníku by byla pro potřeby čtyřčlenné rodiny zcela nevyhovující (zvýšená spotřeba, nemožnost akumulace solárních přebytků). Zpravidla se objem solárního zásobníku dimenzuje minimálně na 1,5 násobek dané spotřeby.

Technická specifikace akumulční nádrže FE AKU SOL o objemu 300 l:

„Ve vrchní části zásobníku je nerezový trubkový výměník, sloužící k průtočnému ohřevu (TUV) teplé užitkové vody .Nerezový trubkový výměník svou konstrukcí a provedením vyniká vysokým přenosem tepla a velkou teplosměnnou plochou $4,0 \text{ m}^2$. Ve spodní části zásobníku je výměník pro solární systém s teplosměnnou plochou $1,3 \text{ m}^2$. Uvnitř tohoto výměníku je část průtočného nerezového výměníku $1,3 \text{ m}^2$, který slouží k vychlazování topného média v oblasti solárního výměníku a dále jako předeřev TUV, kde takto předeřvává teplá užitková voda vstupuje do horního výměníku ke konečnému průtočnému ohřevu TUV. Součástí zásobníku je elektrodohřev vč. regulace, termostatu a tepelné pojistky.“ [16]



Obr. 5.2. Schéma akumulční nádrže [16]

6 Návrh FV systému

Návrh fotovoltaického systému bude řešen v ostrovním režimu. Ostrovní režim bude navržen především pro následné srovnání FV systému se systémem fototermickým. Z toho vyplývá, že fotovoltaické panely nebudou ani dodávat ani odebírat elektrickou energii ze sítě. Umístění FV panelů bude uvažováno stejně jako pro solární kolektory termické, tedy sklon 45 °C. Spotřeba teplé vody bude stejná jako u systému se solárními kolektory a to 180 l/den.

Pro fotovoltaický systém byly zvoleny monokrystalické panely typu CSUN CEEG SST 250 dodávané společností LIGLASS TRADING CZ. Monokrystalické panely disponují nepatrně větší účinností, a tím tedy větší výtěžností výkonu ze stejné plochy oproti panelům polykrystalickým. Dále tyto panely disponují mírně delší životností. Zvolené panely disponují skutečnou účinností 15,4 %. Tato účinnost je ovšem jen teoretická. Účinnost je stanovena za standardních podmínek (STC - standard test conditions), to znamená, že test je proveden pro záření o intenzitě 1 000 W/m² a teplotě okolí 25 °C. Výrobci jednotlivých FV panelů uvádějí veličinu, která popisuje transformaci sluneční energie na energii elektrickou. Jedná se o takzvaný špičkový výkon udávaný ve Wp. Jde o maximální výkon, který dodávají panely za standardních podmínek.

6.1 Stanovení počtu FV panelů za pomoci PVGIS

Výpočet potřebné energie pro ohřev studené vody z 10 °C na 60 °C, v následujícím výpočtu neuvažujeme ztráty v systému, které jsou uvedeny v předchozím výpočtu a mají velikost 10%

$$Q_{W,rok,Z} = Q_{W,den,Z} \cdot n = 10,46 \cdot 365 = 3,818 [MWh/rok]$$

Pro ohřev takového množství vody je zapotřebí 3 818 kWh energie za rok. Aby byla tato potřeba pokryta je dle PVGIS nutný instalovaný výkon FV panelů 4,1 kWp. Z tohoto instalovaného výkonu získáme 3 820 kWh za rok. [16]

Pro výpočet počtu FV panelů použijeme následující jednoduchý vzorec:

$$n_{FV} = \frac{\text{potřebný FV výkon}}{\text{výkon jednoho panelu}} = \frac{4\,100}{250} \cong 16 \text{ panelů}$$

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Ed</i>	3,6	6,1	11,1	15,3	15,1	15,1	15,3	15,1	12,2	8,6	4,4	3,2
<i>Em</i>	112	171	345	460	469	452	476	468	365	269	133	99
<i>Hd</i>	1,0	1,72	3,2	4,6	4,6	4,6	4,8	4,7	3,6	2,5	1,2	0,9
<i>Hm</i>	31,1	48,1	99,2	138	144	141	149	146	110	79	38,1	28,1

Tab. 6.1. Výsledná bilance dle PVGIS pro 4,1 kWp [16]

kde:

Ed – průměrná denní produkce el. energie [kWh]

Em – průměrná měsíční produkce el. energie [kWh]

Hd – průměrné denní ozáření přijaté systémem na m^2 [kWh / m^2]

Hm – průměrné měsíční ozáření přijaté systémem na m^2 [kWh / m^2]

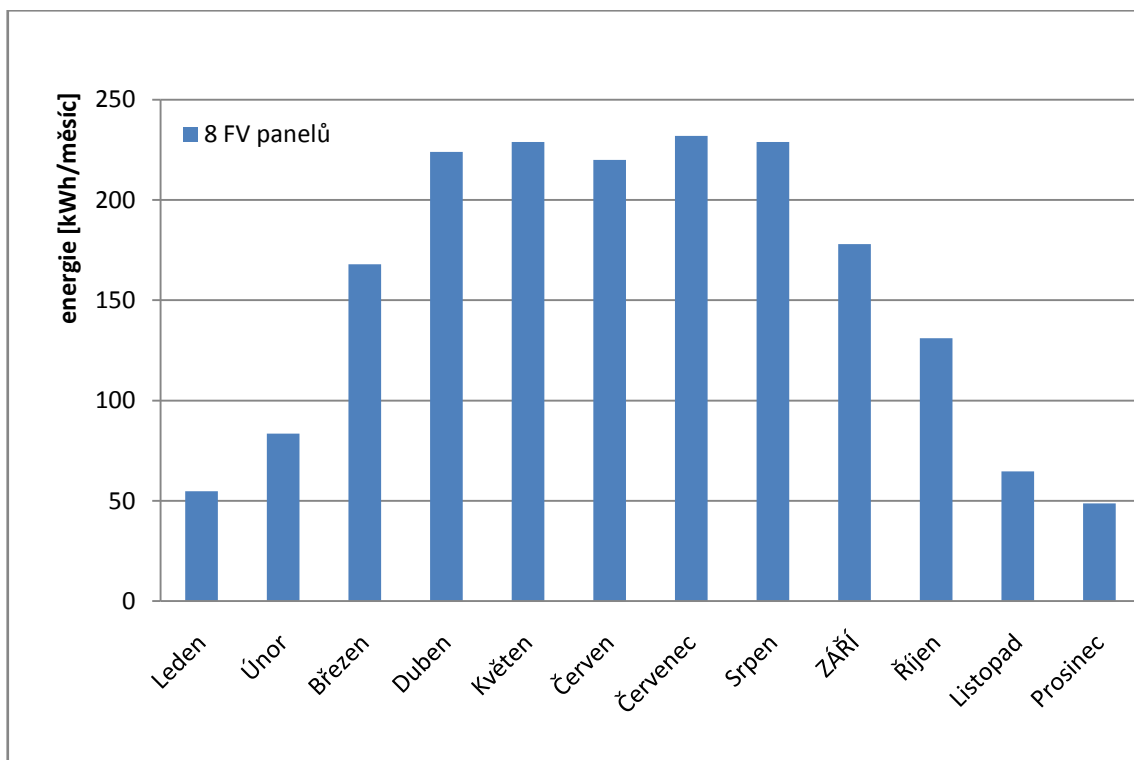
Daný postup by byl nejvhodnější tehdy pokud bychom systém dimenzovali pro reálný sluneční svit. Z výsledků výpočtu vyplývá, že pro potřebný výkon by bylo zapotřebí nainstalovat 16 FV panelů. Z toho důvodu bude požadovaný počet panelů navržen i pro dosavadní příkon topné spirály nádrže, který je 2 000 W. Tomuto příkonu odpovídá instalace 8 FV panelů. V následujících výpočtech a bilancích budeme vycházet jak z návrhu 16 fotovoltaických panelů tak i z návrhu 8 FV panelů. Z instalovaného výkonu 8 panelů získáme 1 860 kWh za rok. [16]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Ed</i>	1,77	2,98	5,43	7,48	7,39	7,35	7,48	7,37	5,94	4,23	2,16	1,57
<i>Em</i>	54,7	83,5	168	224	229	220	232	229	178	131	64,7	48,7
<i>Hd</i>	1,0	1,72	3,2	4,6	4,6	4,6	4,8	4,7	3,6	2,5	1,2	0,9
<i>Hm</i>	31,1	48,1	99,2	138	144	141	149	146	110	79	38,1	28,1

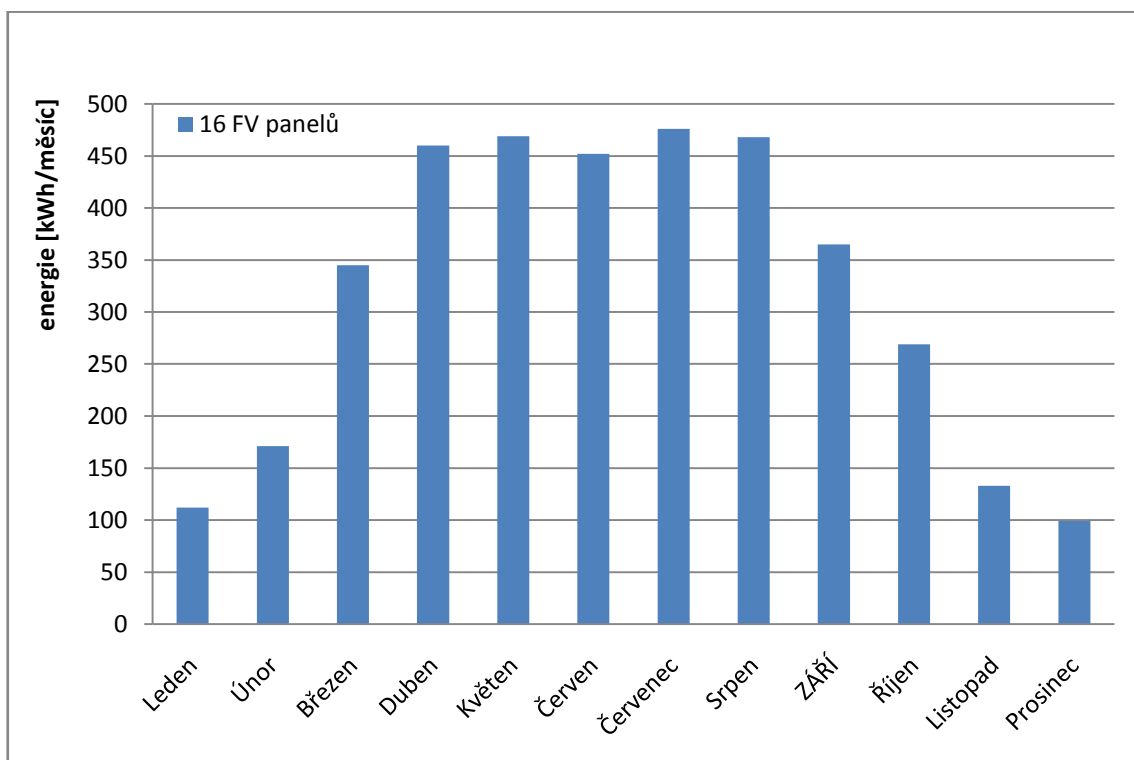
Tab. 6.2. Výsledná bilance dle PVGIS pro 2 kWp [16]

PVGIS - (Photovoltaic Geographical Information System)

Jedná se model vytvořený výzkumným centrem Evropské komise, který vznikl pro podporu zvyšování podílů obnovitelných zdrojů používaných v oblasti energetiky. PVGIS je dostupný v podobě webové služby pro širokou veřejnost. Uchovává rastrové mapy průměrného slunečního záření za jednotlivé měsíce.



Graf. 6.1. Elektrická energie vyrobena 8 FV panely

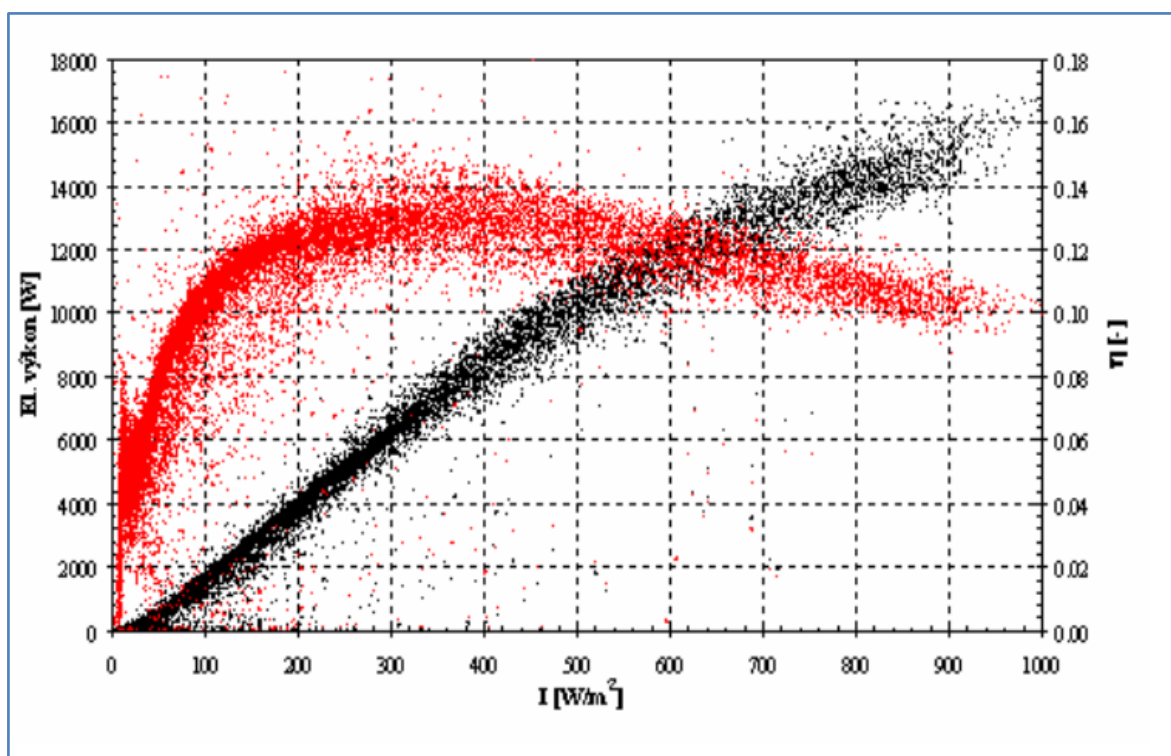


Graf. 6.2. Elektrická energie vyrobena 16 FV panely

6.2 Účinnost a výkon

Účinnost fotovoltaických panelů obdobně jako v případě tepelných kolektorů je přímo závislá teplotě a intenzitě záření. Na rozdíl od tepelných kolektorů se nejedná o teplotu okolí, ale o provozní teplotu konkrétních fotovoltaických panelů. Dalším rozdílem oproti solárním kolektorům je v tom, že s klesající teplotou nepatrně stoupá jejich účinnost.

Výsledný průběh účinnosti a výkonové charakteristiky solárních FV panelů závisí na intenzitě slunečního záření, které dopadá kolmo na plochu panelů. Jednotlivé charakteristiky jsou stanoveny z provozních bodů, které byly skutečně měřeny. Regresní vzorec pro výpočet výkonu z dané intenzity osvětlení je převzat z výsledků reálného měření monokrystalických panelů instalovaných na nové knihovně VŠB.



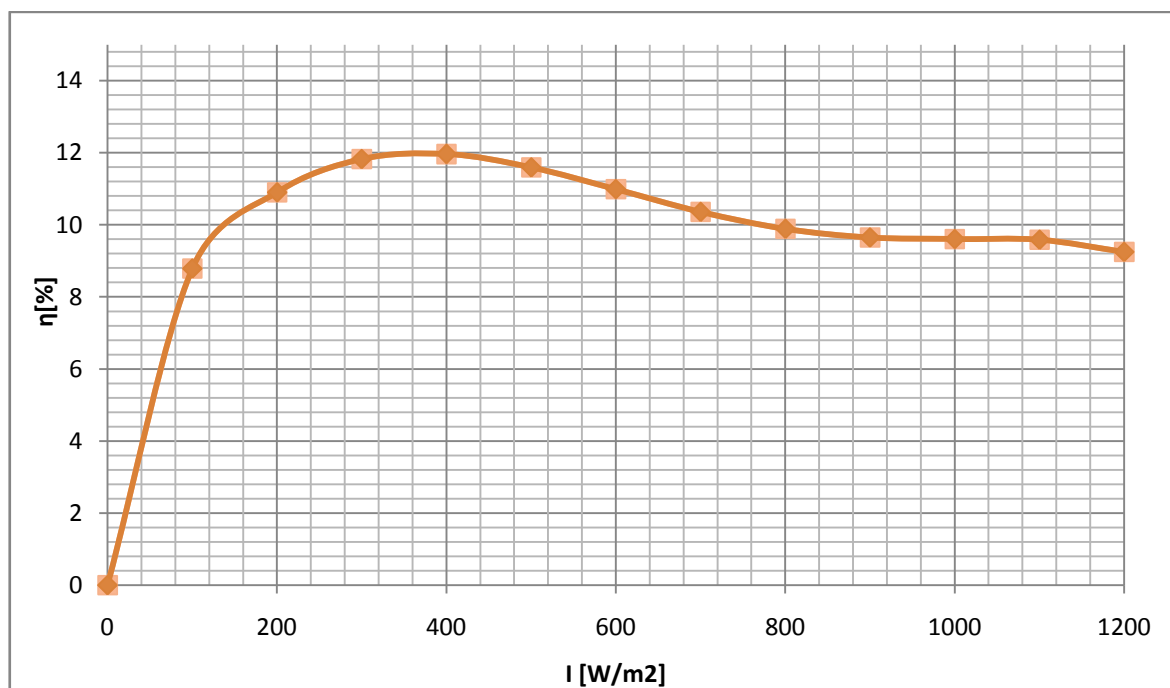
Graf. 6.3. Reálný výkon a účinnost v závislosti na intenzitě osvětlení

Převzatý vzorec 6.1 a graf 6.3 pro výpočet reálného výkonu monokrystalických panelů poskytnutý vedoucím diplomové práce je dán polynomem:

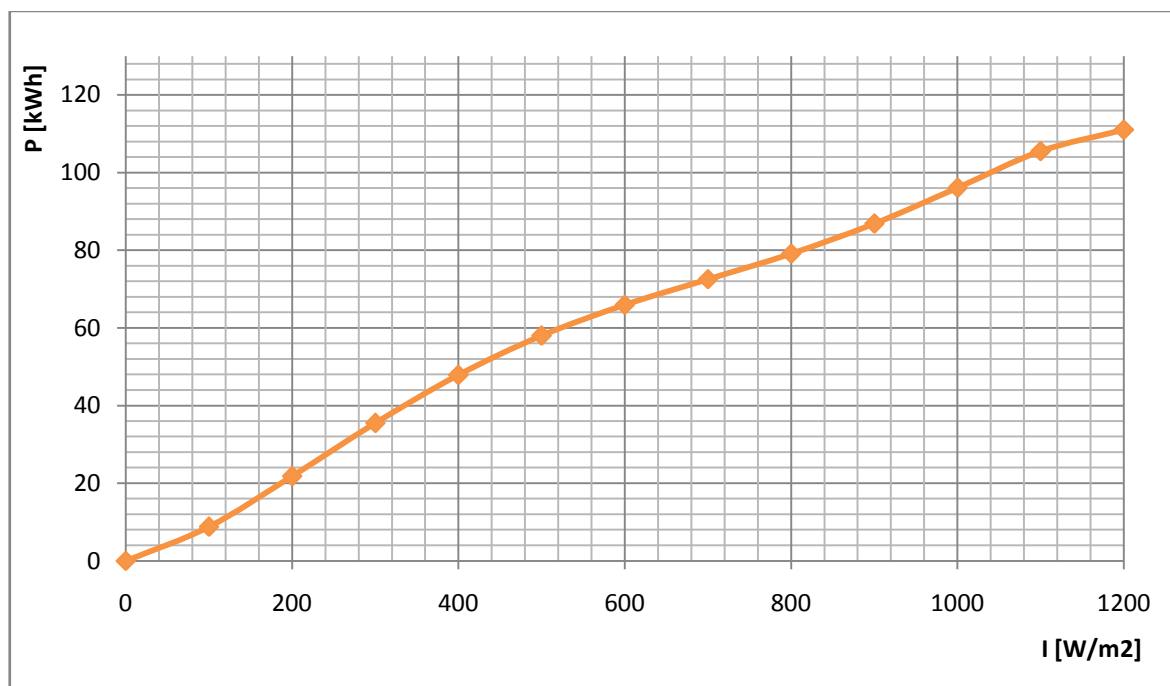
$$P_{FV} = -X_1 \cdot I^6 + X_2 \cdot I^5 + X_3 \cdot I^4 + X_4 \cdot I^3 + X_5 \cdot I^2 + X_6 \cdot I^1 + X_7 \quad (6.1)$$

kde:

$$\begin{aligned} X_1 &= 3,96004168 \cdot 10^{-14} & X_5 &= 0,05477315 \cdot 10^0 \\ X_2 &= 8,12709997 \cdot 10^{-11} & X_6 &= 10,9876668 \cdot 10^0 \\ X_3 &= 1,67195373 \cdot 10^{-9} & X_7 &= 128,134572 \cdot 10^0 \\ X_4 &= 0,00009338 \cdot 10^{-1} \end{aligned}$$



Graf. 6.4. Účinnostní charakteristika vypočtené z polynomu P_{FV}



Graf. 6.5. Výkonová charakteristika vypočtené z polynomu P_{FV}

6.3 Přepočet návrhu FV panelů pomocí databáze METEONORM

Pro následující výpočet použijeme meteorologická data převzata z databáze Meteonorm. V následující části budou vypočteny zisky pro navrhované soustavy s 8 a 16 fotovoltaickými solárními panely. Tento výpočet bude proveden pro data poskytnutá databází Meteonorm.

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>GGk</i>	50,3	64,9	98,8	118,5	147,5	138,4	147,9	146,3	98,6	57,7	41,5	26,9
<i>Hm</i>	31,1	48,1	99,2	138	144	141	149	146	110	79	38,1	28,1

Tab. 6.3. Porovnání průměrných měsíčních hodnot pro jednotlivé databáze

kde:

Hm – průměrné měsíční ozáření přijaté systémem na m^2 dle PVGIS [kWh / m^2]

GGk – průměrné měsíční ozáření přijaté systémem na m^2 dle METEONORM [kWh / m^2]

V tabulce 6.3. můžeme vidět porovnání hodnot průměrného slunečního záření v jednotlivých měsících. Z porovnávaných hodnot slunečního záření jde vidět, že v zimních měsících udává větší přínos energie databáze METEONORM, v letním období se hodnoty získané z jednotlivých databází téměř rovnají. Dle mého názoru je tato difference způsobena rozdílným zaznamenáváním dat. Pomocí databáze METEONORM vyhodnocujeme reálné období pouze jednoho referenčního roku pro dané místo a jeho nadmořskou výšku. Databáze PVGIS nám poskytuje průměrné hodnoty ozáření, které byly měřeny v průběhu několika let.

Výpočet měsíčních zisků FV panelů pomocí databáze METEONORM:

Výpočet je podobný jako v případě termických solárních panelů, jeden rozdíl je v tom, že výkon daných panelů bude vypočten pomocí již zmíněného polynomu, který popisuje reálný výkon VF panelů pro zvolené sluneční ozáření. Detailní příklad výpočtu je uveden v příloze číslo 5.

Účinnost panelů dostaneme pomocí:

$$\eta = \frac{P_{FV}}{GGk} [-] \quad (6.2)$$

Potom celková energie zachycená plochou kolektorů:

$$Q_{CFV} = \eta \cdot GG_K \cdot S_{8(16)} [kWh] \quad (6.3)$$

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{CFV8}	79,8	101,2	157,5	185,9	233,3	215,9	229,8	226,9	153,9	124,1	65,7	41,3
Q_{CFV16}	159,7	202,3	315,1	371,8	466,6	438	459,6	453,8	307,9	248,2	131,4	82,6

Tab. 6.4. Zachycená energie 8 a 16 FV panely

6.4 Navrhovaná soustava

Navrhovaným zařízením budou solární FV panely se systémem KERBEROS. Jedná se o jeden z nejefektivnějších způsobů využití elektrické energie generované fotovoltaickými panely pro ohřev teplé užitkové vody. Systém umožňuje hospodárně kombinovat energii dodanou FV panely s energií odebranou z elektrické sítě. Hlavním úkolem systému je zabezpečení ohřevu TUV s maximální možnou účinností. Díky svému DC / DC měniči se sledováním MPP (maximální bod výkonu). Měnič DC / DC sleduje MPP a zároveň přizpůsobuje parametry svého výstupu tak, aby jej bylo možno připojit přímo k topnému tělesu libovolného bojleru s tělesem o výkonu 2 - 3 kW. U tohoto systému není zapotřebí dalšího topného tělesa. Od fotovoltaických panelů vede k bojleru pouze tenký ohebný kabel. V zimním období tento systém dokonce disponuje větší účinností díky lepšímu chlazení panelů.[18]

Konstrukční výhody:

- vyšší účinnost
- snadná a nenákladná instalace
- efektivní ohřev TUV i v zimním období
- použití libovolného bojleru
- možnost práce v ostrovním režimu (autonomnost)

Nabízené sestavy s tímto systémem jdou připojit téměř k libovolnému zásobníku, bojleru nebo akumulární nádrži obsahující jednofázovou topnou spirálu o výkonu 2-3 kW. Sestavy jsou nabízeny podle potřebného celkového výkonu 1 - 2 kW. Dále sestavy obsahují adekvátní počet panelů pro daný výkon, montážní materiál, kabeláž, přepětovou ochranu a řídicí jednotu se systémem KERBEROS.

7 Energetické zhodnocení obou variant

Podklad k energetickému, ekologickému a ekonomickému bilancování a hodnocení ještě nerealizovaných soustav je důležité správně vyhodnotit velikost energetických přínosů dané instalace výpočtem. Energetické přínosy solárních soustav nejsou závislé pouze na vlastnostech daných komponent, ale jsou závislé především na samotném návrhu dané solární soustavy. [5]

7.1 Tepelná bilance solárních kolektorů

Základním podkladem pro tepelné bilancování využitelných (nevyužitelných) tepelných zisků solární soustavy je vlastní potřeba tepla v dané aplikaci. V našem případě nemáme k dispozici reálné měřené spotřeby teplé vody proto bude výpočet vycházet dle kapitoly 5.2.

$$Q_{W,měsíc,Z} = Q_{W,den,Z} \cdot n \quad (7.1)$$

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{W,měsíc,Z}$ [kWh]	360,1	325,3	360,1	348,5	360,1	348,5	360,1	360,1	348,5	360,1	348,5	360,1

Tab. 7.1. Potřebná energie pro ohřev TVU

Pro následující bilanci budeme také potřebovat celkovou velikost energie zachycenou plochou kolektorů:

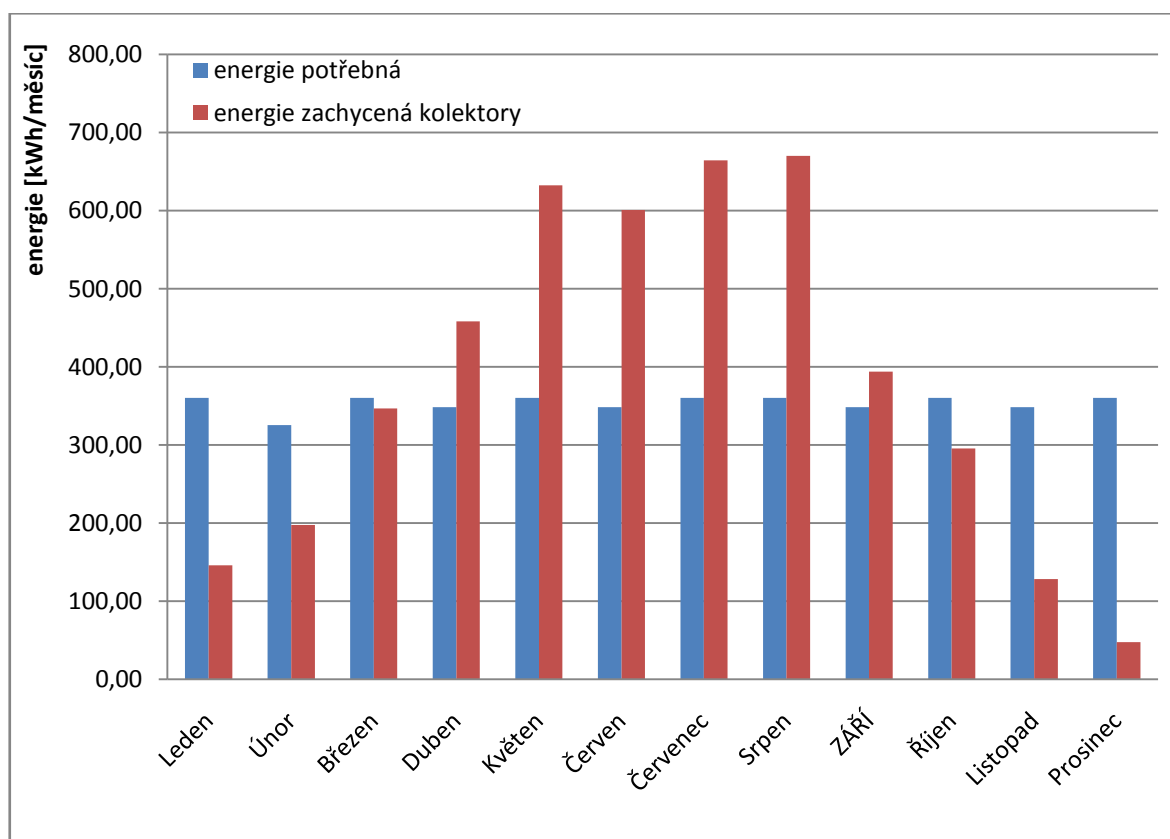
$$Q_C = \eta \cdot GG_K \quad (7.2)$$

Potom jednoduchým výpočtem stanovíme celkové množství zachycené energie celkovou plochou apertury solárních kolektorů:

$$Q_{C,Real} = Q_C \cdot S_A \quad (7.3)$$

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{C,Real}$ [kWh/m ²]	145,8	197,7	346,7	458,4	632,3	600,8	664,3	670,3	393,7	295,3	128,4	47,6
Celkem	3287,4 kWh											

Tab. 7.3. Zachycená energie navrhovanou plochou kolektorů



Graf. 7.1. Porovnání potřebné energie a zisků energie solárními kolektory

Graf 6.5. popisuje zisky solární soustavy v jednotlivých měsících. Z grafu je patrné, ve kterých měsících je instalovaný výkon dostačující. Jde vidět, že téměř od března do října kryjí solární kolektory potřebu pro přípravu TUV téměř se 100 % podílem. V období od dubna do srpna disponuje systém podstatně velkými přebytky energie

Přebytky a nedostatky:

přebytky energie - pro tyto měsíce IV, V, VI, VII, VIII, IX.

$$Q_{prebytek} = Q_{C,Real} - Q_C$$

nedostatky energie - pro tyto měsíce I, II, III, X, XI, XII

$$Q_{nedostatek} = |Q_{C,Real} - Q_C|$$

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{prebytek}$ [kWh/m ²]	0	0	0	109,9	272,4	252,4	304,2	310,2	45,3	0	0	0
$Q_{nedostatek}$ [kWh/m ²]	214,3	127,6	13,4	0	0	0	0	0	0	64,8	220,1	312,5

Tab. 7.4. Přebytky a nedostatky v jednotlivých měsících

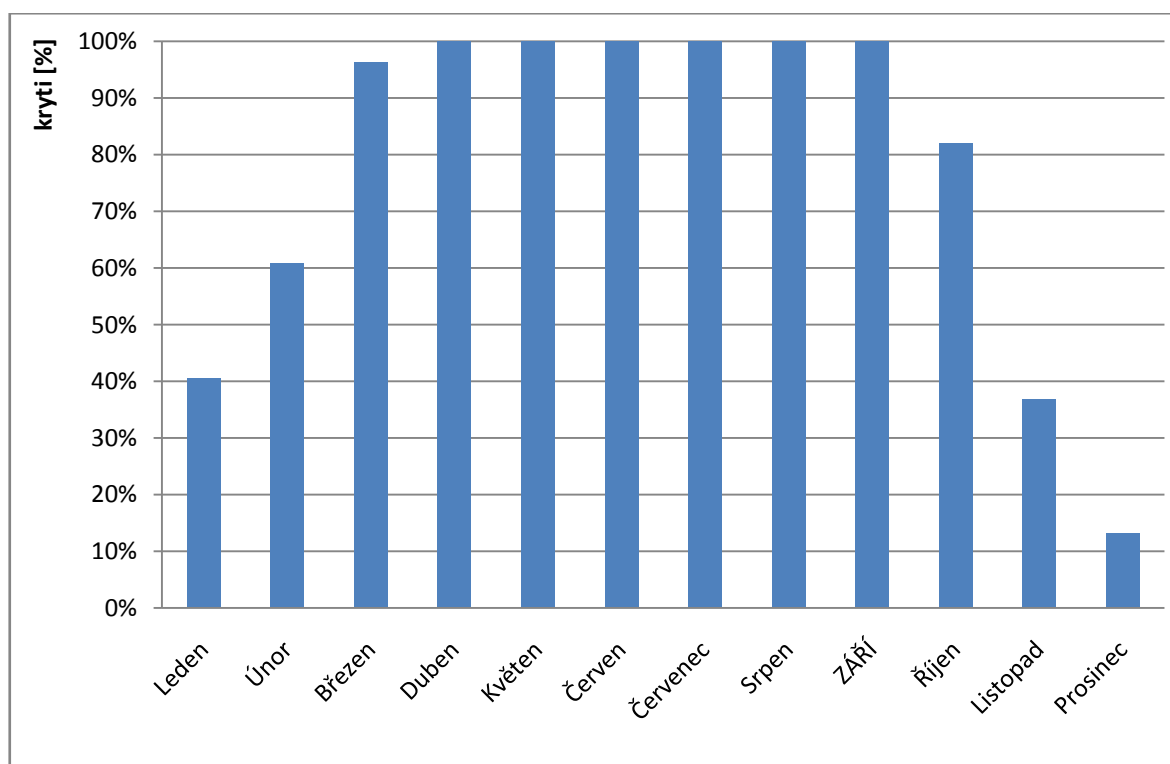
Krytí potřeb pro přípravu TUV solárními kolektory:

$$n_{krytí} = \frac{Q_{C,Real}}{Q_{W,měsíc,Z}} \cdot 100 [\%] \quad (7.4)$$

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$n_{krytí} [\%]$	40	61	96	100	100	100	100	100	100	82	37	13

Tab. 7.5. Krytí potřebné energie pro ohřev TUV

Průměrné roční krytí za pomoci 3 zvolených kolektorů je 78%



Graf. 7.2. Krytí potřebné energie v jednotlivých měsících

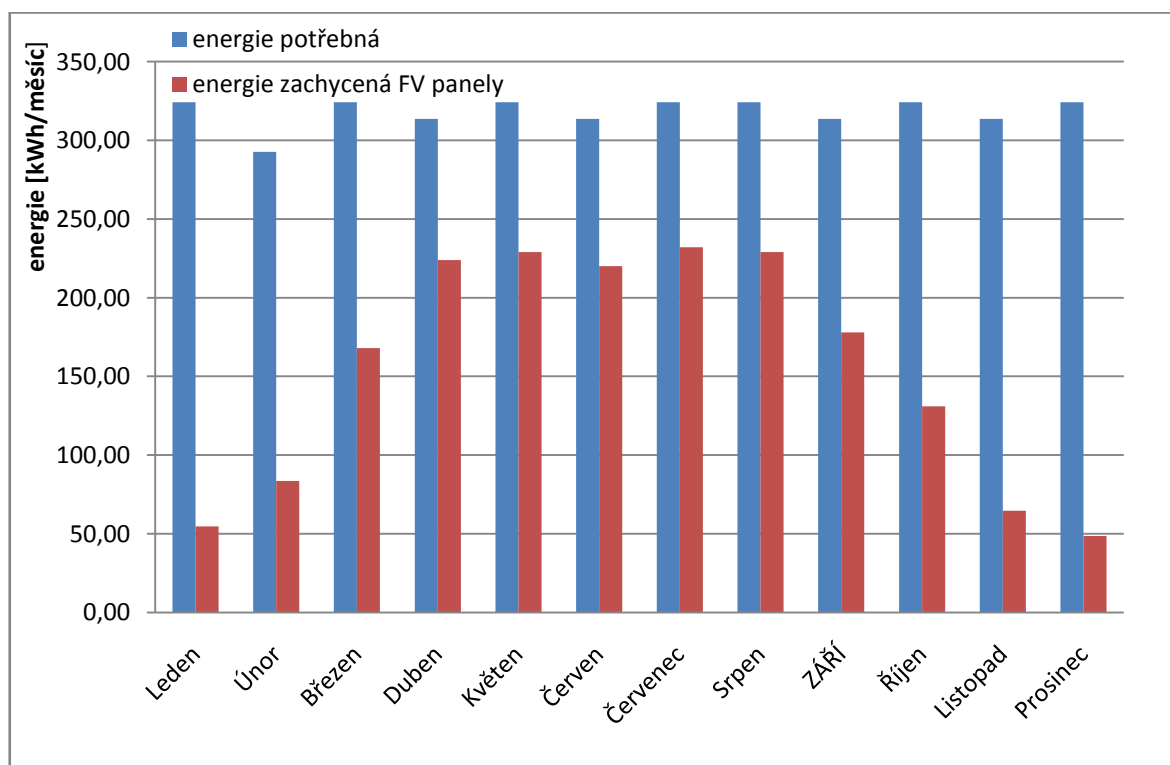
7.2 Bilance solárních FV panelů

V případě energetického bilancování systému s fotovoltaickými panely budeme postupovat podobným způsobem jako u systému s tepelnými kolektory. V kapitole 6.1. byly stanoveny jednotlivé návrhy jeden pro 8 a druhý pro 16 fotovoltaických panelů. Budeme předpokládat, že všechna vyrobená el. energie bude předána v tepelném zásobníku do TUV. Dalším předpokladem bude, že ztráty přenosem elektrické energie jsou zanedbatelné a přeměna el. energie odporovou topnou spirálou je téměř stoprocentní. Předpokladem pro následnou bilanci je, že veškerá získaná energie se přemění v tepelnou energii ohřáté vody.

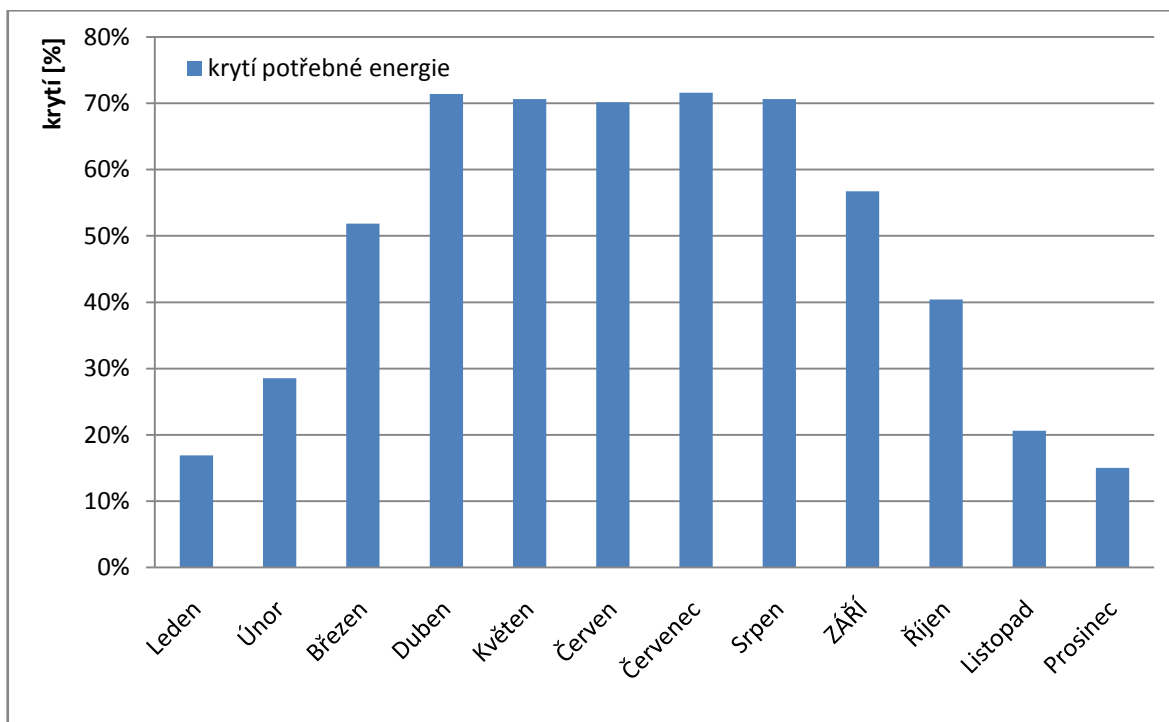
Tepelná bilance 8 FV panelů:

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{W,den,Z}$	324,1	292,7	324,1	313,6	324,1	313,6	324,1	324,1	313,6	324,1	313,6	324,1
Em	54,7	83,5	168	224	229	220	232	229	178	131	64,7	48,7

Tab. 7.6. Získaná energie 8 FV panelů



Graf. 7.3. Porovnání potřebné a získané energie 8 FV panelů pro přípravu TUV



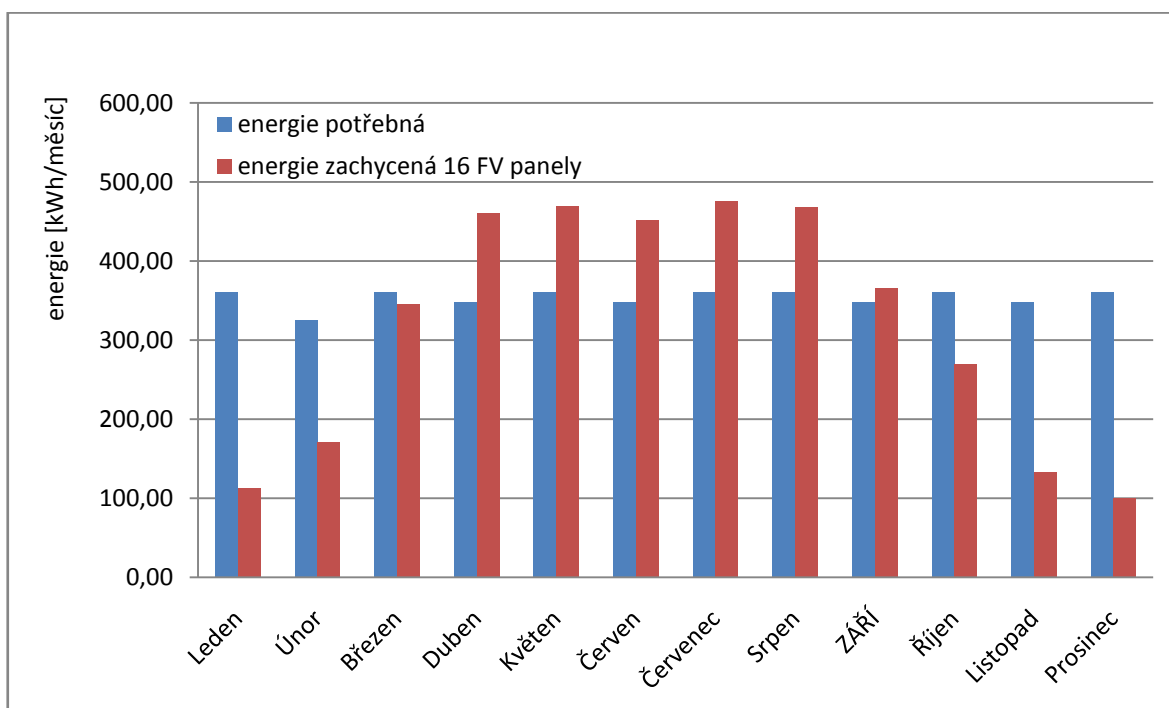
Graf. 7.4. Krytí potřebné energie v jednotlivých měsících 8 FV panelů

Průměrné roční krytí za pomoci 8 zvolených fotovoltaických panelů je 49%

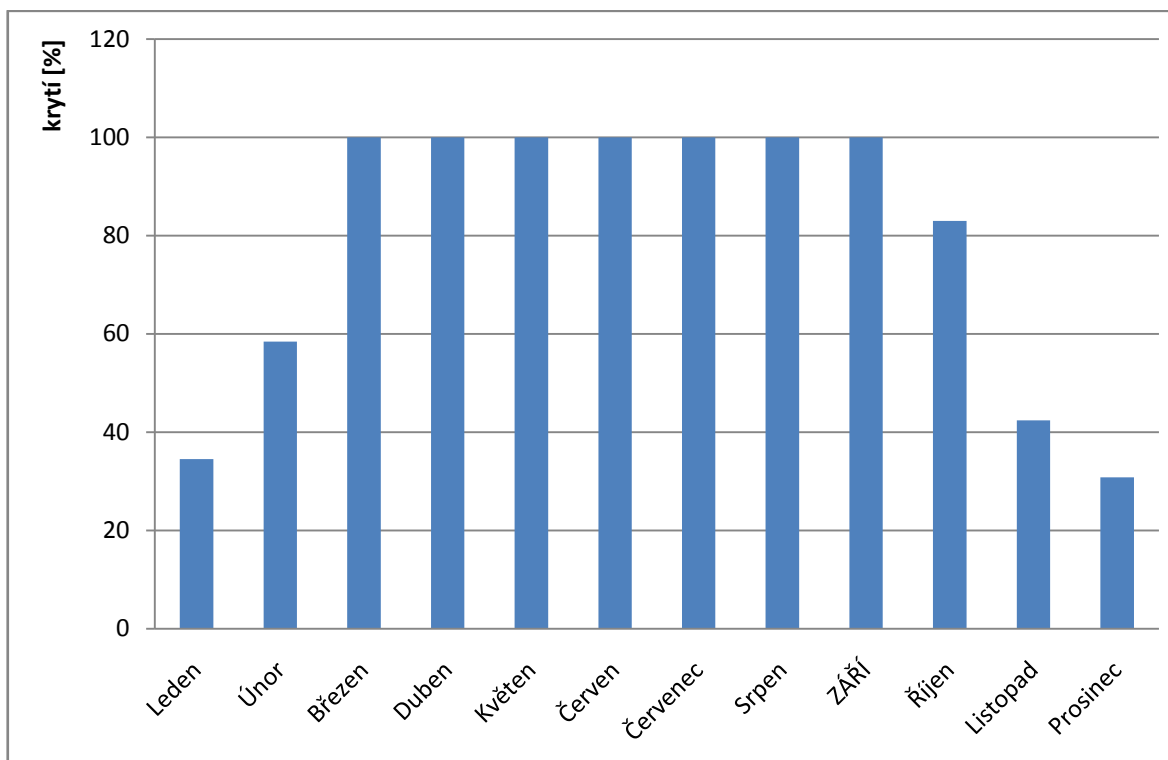
Tepelná bilance 16 FV panelů:

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{W,den,Z}$	324,1	292,7	324,1	313,6	324,1	313,6	324,1	324,1	313,6	324,1	313,6	324,1
Em	112	171	345	460	469	452	476	468	365	269	133	99,8

Tab. 7.7. Získaná energie 16 FV panelů



Graf. 7.5. Porovnání potřebné a získané energie 16 FV panelů pro přípravu TUV



Graf. 7.6. Krytí potřebné energie v jednotlivých měsících 16 FV panelů

Průměrné roční krytí za pomoci 16 zvolených fotovoltaických panelů činí 79%

Postup energetického zhodnocení FV panelů je obdobný jako v případě s termickými solárními kolektory. Jednotlivé bilance jsou provedeny pro případnou instalaci 8 nebo 16 FV solárních panelů. Při vyhodnocení 8 panelů bylo zjištěno, že takto navržený systém by nepokryl nároky na potřebu energie pro přípravu teplé vody ani v jednom měsíci. Systém, který by obsahoval 16 FV solárních panelů by pokryl 100% potřebu tepelné energie od března do září, což je podobný výsledek jako v případě fototermických solárních kolektorů.

8 Ekonomické zhodnocení soustav

Jeden z hlavních a nezbytných podkladů při rozhodování investora zda investovat do navrženého systému je ekonomický výpočet nákladů pro realizaci daného projektu, a jeho následná ekonomická efektivnost a návratnost. Pro vyhodnocení jednotlivých soustav a jejich přínosů můžeme využít celou řadu různých způsobů. V první řadě se zabýváme energetickým vyhodnocením ročních zisků navrhovaných soustav. Takto stanovené energetické zisky slouží pro následné typy hodnocení. Jedná-li se o hodnocení energetické vyhodnocujeme úspory primárních energií, u ekonomického hodnocení se zaměřujeme na návratnost dané soustavy a jednotkovou cenu za získané teplo. U ekologického zhodnocení nás zajímá daný environmentální přínos dané soustavy. Je dobré vzít v potaz, že například energetická výhodnost nemusí zpravidla vždy znamenat výhodnost ekonomickou a naopak. Jednotlivé typy vyhodnocení můžeme provést na základě výpočtů nebo měření přínosů jednotlivých realizovaných soustav. Výsledné hodnoty těchto způsobů závisí především na správnosti postupu. [1]

8.1 Ekonomické přínos solárních kolektorů

Nízkoteplotní systémy využívající solární energii můžeme hodnotit podobně jako různé zařízení dodávající tepelnou energii a to podle jejich ekonomické efektivnosti. U tepelných solárních kolektorů je nutno brát zřetel na to, že se jedná o obnovitelnou tedy „čistou energii“, která se nedá vyčerpat a neprodukuje žádné škodlivé emise. Všeobecnou orientaci o výhodnosti systému se solárními kolektory umožňuje tzv. *stupeň krytí spotřeby energie*.

$$f = \frac{Q_{C,Real}}{Q_{W,měsic,Z}} [-] \quad (8.1)$$

kde:

f – *stupeň krytí spotřeby energie*

$Q_{C,Real}$ – *měrná energie zachycená kolektory za daný měsíc*

$Q_{W,měsic,Z}$ – *spotřeba energie na ohřev TUV za daný měsíc*

„Roční stupeň krytí spotřeby energie by měl být vždy ($f < 1$). Je-li ($f > 1$), je plocha kolektorů zbytečně velká a zařízení je drahé, tj. neekonomické. Jako směrnici pro systémy pro ohřev vody lze uvést:

- Letní měsíce VI, VII a VIII má být $f = 1$ (popř. $f > 1$)
- Pro okrajové měsíce V a IX $f = 0,8$ až $0,9$
- Pro celý rok (průměrná hodnota) $f = 0,65$ až $0,75$ “ [1]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ roční
$n_{\text{krytí}} [\%]$	40	60	100	100	100	100	100	100	100	80	40	10	69,2

Tab. 8.1. Krytí potřeby energie solárními kolektory

Z výsledku vyplývá, že průměrné roční krytí spotřeby TUV pomocí solárních kolektorů je přibližně 70 %.

Dalším kritériem, které je nazýváno jako doba návratnosti systému nám udává, za jak dlouhý časový interval se vyložení investice vrátí. Toho běžné hodnocení návratnosti je většinou postačující pouze pro hodnocení domácnosti. [4]

Jednotlivé komponenty a jejich ceny:

- ploché solární kolektory: 12 500 Kč / kus (3x)
- akumulační nádoba: 37 000 Kč / kus
- expanzní nádoba: 1 100 Kč / kus
- čerpadlo: 3 000 Kč / kus
- montážní sada kolektoru: 2 000 Kč / kus (3x)
- potrubí a izolace: 4 000 Kč
- sada armatur kolekt. pole: 1 200 Kč / kus (3x)
- nemrznoucí teplotnosná směs: 1 500 Kč
- náklady na práci (předpoklad): 10 000 Kč
- příslušenství: 10 000 Kč

Celkové orientační investiční náklady činní 113 700 Kč.

Potom jednoduchým výpočtem stanovíme předpokládanou dobu návratnosti navrhovaného systému:

$$\tau_s = \frac{N}{(c \cdot E - N_p)} [\text{let}] \quad (7.2)$$

<i>N</i> – pořizovací náklady:	113 700 Kč
<i>E</i> – množství vyrobené energie:	3 287,4 kWh
<i>c</i> – stávající cena energie:	(2,21 NT, 3,04 VT) Kč / kWh
<i>N_p</i> - provozní náklady:	chod čerpadla + výměna teplotnosného media

Roční provozní náklady stanovíme z reálného chodu čerpadla o příkonu 40 W. Součtem jednotlivých hodin, kdy solární kolektory zachycují solární energii, získáme celkovou sumu provozních hodin čerpadla v daném roce. Výpočet je stanoven pouze pro reálný chod čerpadla tzn. do 100% solárních zisků. Nebude uvažována práce čerpadla v případě tepelných přebytků, kterými disponujeme v letních měsících. Jelikož intenzita slunečního záření dopadajícího na plochu kolektorů není „*bohužel*“ závislá na aktuální sazbě za elektrickou energii. Proto ve výpočtu budu vycházet s průměrnou cenou el. energie poskytované dodavatelem, která činí 2,63 Kč / kWh.

K provozním nákladům za chod čerpadla musíme také připočítat cenu za pravidelnou výměnu teplotnosné kapaliny. Pro náš navrhovaný systém budeme předpokládat s výměnou teplotnosné kapaliny jednou za 5 let, uvedená cena kapaliny viz. pořizovací náklady.

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
τ_{provoz}	86	123	186	183	186	182	179	171	214	183	81	41
Součet	1817 hod / rok											

Tab. 8.2. Počet hodin provozu čerpadla

Předpokládané provozní náklady:

$$Q_{\text{čerpadla}} = \tau_{\text{provoz}} \cdot P_{\text{čerpadla}} = 1817 \cdot 0,04 = 72,7 \text{ kwh/rok}$$

$$N_{P\check{C}} = Q_{\text{čerpadla}} \cdot c = 72,7 \cdot 2,63 = 191,2 \text{ Kč /rok}$$

$$N_{PK} = \frac{\text{náklady}}{\text{interval výměny}} = \frac{1500}{5} = 300 \text{ Kč /rok}$$

$$N_P = N_{P\check{C}} + N_{PK} = 191,2 + 300 = 491,2 \text{ Kč /rok}$$

Předpokládaná doba návratnosti:

$$\tau_S = \frac{N}{(c \cdot E - N_P)} = \frac{113\,700}{(2,63 \cdot 3\,287,4 - 491,2)} = 13,9 \text{ let}$$

Krytí roční spotřeby TUV:

$$K = \frac{E}{Q_{W,rok,Z}} \cdot 100 = \frac{3\,287,4}{4\,241} \cdot 100 = 77,5 \%$$

Roční úspora:

$$N_{\text{úspora}} = E \cdot c = 3287,4 \cdot 2,63 = 8\,645,8 \text{ Kč}$$

8.2 Ekonomické přínos solárních FV panelů

Ekonomický přínos fotovoltaických panelů stanovíme stejným způsobem jako v předchozím případě. Pro zjednodušení nebudeme uvažovat cenu akumulční nádoby. Systém KERBEROS je možno nainstalovat téměř na jakýkoliv typ ohřívače.

Jednotlivé komponenty a jejich ceny:

- monokrystalické panely: 6 300 Kč / kus (8x, 16x)
- montážní sada panelů: 2 000 Kč / set (2x)
- systém Kerberos: 22 000 Kč / kus
- vodiče: 2 000 Kč / set (2x)
- komponenty: 3 000 Kč / set (2x)
- montáž: 10 000 Kč

Celkové investiční náklady pro instalaci 8 FV panelů činí 89 400 Kč. Pro sadu se 16 FV panely je výsledná cena 146 800 Kč.

kde:

N – pořizovací náklady: 89 400 Kč

E – množství vyrobené energie: 1 860 kWh

c – stávající cena energie NT: 2,21 Kč / kWh

8.2.1 Výpočet pro 8 FV panelů

Předpokládaná doba splácení:

$$\tau_s = \frac{N}{(c \cdot E)} = \frac{89\,400}{(2,21 \cdot 1\,860)} = 21,7 \text{ let}$$

Krytí roční spotřeby TUV:

$$K = \frac{E}{Q_{W,rok,Z}} \cdot 100 = \frac{1\,860}{3818} \cdot 100 = 48,3 \%$$

Roční úspora:

$$N_{úspora} = E \cdot c = 1\,860 \cdot 2,21 = 4\,111 \text{ Kč}$$

8.2.2 Výpočet pro 16 FV panelů

kde:

N – pořizovací náklady: 146 800 Kč

E_V – množství vyrobené energie: 3 820 kWh

E - množství využité energie: 3022 kWh

c – stávající cena energie NT: 2,21 Kč / kWh

Tepelná bilance 16 FV panelů:

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
$Q_{W,měsíc}$	324,1	292,7	324,1	313,6	324,1	313,6	324,1	324,1	313,6	324,1	313,6	324,1	3818
E_m	112	171	345	460	469	452	476	468	365	269	133	99,8	3820
$Q_{využitá}$	112	171	324,1	313,6	324,1	313,6	324,1	324,1	313,6	269	133	99,8	3022
$Q_{přebytek}$	0	0	20,9	146,4	144,9	138,4	151,9	143,9	51,4	0	0	0	-

Tab. 8.3. Získaná energie 16 FV panely

Předpokládaná doba splácení:

$$\tau_s = \frac{N}{(c \cdot E)} = \frac{146\,800}{(2,21 \cdot 3022)} = 21,9 \text{ let}$$

Krytí roční spotřeby TUV:

$$K = \frac{E}{Q_{W,rok,Z}} \cdot 100 = \frac{3\,022}{3818} \cdot 100 = 79,2 \%$$

Roční úspora:

$$N_{úspora} = E \cdot c = 3\,022 \cdot 2,21 = 6678 \text{ Kč}$$

8.3 Návratnost systému

Výpočet návratnosti investice do vybraného systému je poměrně složitá záležitost, u které nikdy nemůžeme získat 100% jistotu, že výsledek bude odpovídat realitě. Je mnoho faktorů, které nám v průběhu let budou negativně ovlivňovat počáteční investici a její dobu návratnosti. Například změna ceny elektřiny, únava materiálu, pokles výkonu solárních panelů a pod.

9 Environmentální přínos

Environmentální lépe ekologický přínos zvoleného navrhovaného systému spočívá ve snížení produkce škodlivých a znečišťujících látek. Zdrojem těchto látek je například kotel na tuhá paliva, v případě elektrické energie odebírané ze sítě se jedná o škodlivé látky, které produkuje elektrárna. Ke stanovení množství škodlivých emisí se používá tzv. emisních faktorů. Tabulka emisních limitů pro systémovou elektřinu byla poskytnuta vedoucím diplomové práce.

Emise el. energie - systémové zdroje kg / kWh				
TL	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂
$0,93 \cdot 10^{-4}$	$16,1 \cdot 10^{-4}$	$14,9 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	1,17

Tab. 9.1. Emisní faktory v kg / kWh výroby elektrické energie

Roční ekologická bilance kg / kWh				
	Elektrický ohřev	Ohřev kolektory	Ohřev 8 FV panely	Ohřev 16 FV panely
Spotřeba el. energie [kWh _e]	4 241	1 026	2 381	769
TL	0,39	0,095	0,22	0,071
SO ₂	6,81	1,65	3,82	1,23
NO _x	6,31	1,52	3,54	1,14
CO	0,59	0,14	0,33	0,1
CO ₂	4962	1200	2786	899

Tab. 9.2. Celkové emise pro jednotlivé zdroje pro přípravu TUV

Z výsledné tabulky 9.2. je možno stanovit ekologické přínosy jednotlivých navrhovaných soustav. Nejekologičtěji vychází instalace do 16 FV panelů, u nichž je podstatně nižší produkce jednotlivých škodlivých emisí. V tomto předpokladu nejsou zahrnuty emise, které vznikají při výrobě jednotlivých komponent daných systémů.

10 Závěr

Tato diplomová práce si kladla za cíl porovnat možnosti přípravy teplé užitkové vody z alternativních zdrojů energie, respektive slunečního záření zachyceného plochou navrhovaných systémů. Výsledkem návrhu solárních systémů je návrh výkonových parametrů jednotlivých dispozičních řešení (solární kolektory, fotovoltaické články). Jednotlivé výkonové dispoziční řešení jsou následně zhodnoceny z několika aspektů. Mezi hodnotící aspekty patří, energetická bilance (možné energetické zisky soustavy), ekonomické (návratnost systémů a náklady na realizaci), environmentální (výpočet snížení emisí oproti stávajícímu zdroji).

Navrhovanými zařízeními v prvním případě jsou solární kolektory KPS11+ od společnosti Regulus. Jedná se o ploché solární panely s plochou apertury $2,31 \text{ m}^2$. Tyto kolektory budou umístěny šikmé střeše pod úhlem $\alpha = 45^\circ$. Azimutový úhel (odklon od jihu) $a = 0$. Druhým navrhovaným řešením jsou zvoleny monokrystalické fotovoltaické panely typu CSUN CEEG SST 250 dodávané společností LIGLASS TRADING. Návrh jednotlivých aktivních solárních systému vychází z denní spotřeby tepla pro ohřev teplé užitkové vody ($Q_{W,den,Z} = 11,62 \text{ kWh}$). Od této hodnoty se následně odvíjí celá řada jednotlivých výpočtů (plocha kolektorů, počet fotovoltaických panelů, roční energetické bilance, ekonomické a environmentální vyhodnocení). Z jednotlivých výpočtů jsme zjistili, že solární kolektory kryjí roční potřebu pro přípravu TUV z 77 % a ušetříme s nimi 8 448 Kč, které bychom jinak zaplatili za elektrickou energii. Druhý systém s fotovoltaickými panely byl počítán pro možnou instalaci 8 a 16 FV panelů. Pokud bychom zvolili 16 FV panelů byla by výsledná investice asi o třetinu nákladnější, než v případě solárních kolektorů. Výsledné krytí se instalací 16 FV panely by kryla nároky pro přípravu TUV z 79,2 % a ušetřili bychom 6 678 Kč. Je důležité podotknout, že investice je poměrně nákladnější a v případě skutečné realizace by náklady na investici mohly nepatrně stoupnout. Pro porovnání byl výpočet také proveden pro instalaci s 8FV, které by měla stejný špičkový výkon, jako dosavadní topné těleso o výkonu 2 kW. Tímto systémem bychom kryli potřebu TUV z 48,3 % a ušetřili bychom 4 111 Kč.

Z pohledu na výsledek jednotlivých navrhovaných systémů se jeví jako reálné využívání solárních systémů pro přípravu TUV v našich klimatických podmínkách. K sezonnímu pokrytí potřeby teplé vody se jeví jako vhodnější instalace solárních kolektorů, jejichž návratnost se pohybuje na hranici 14 let.

11 Zdroje

- [1] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Vydání první: T. Malina, Na Doubkové 7, Praha, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [2] KLECZEK, Josip. Slunce a jeho energie. TZB-info [online]. 27.4.2004 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>
- [3] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 136 s. Profi. ISBN 978-80-247-3503-0.
- [4] MURTINGER, Karel. *Solární energie pro váš dům*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005, vi, 91 s. Profi. ISBN 80-736-6029-6.
- [5] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy* 1. vyd. 2010, 136 s. Profi. ISBN 978-80-02-02186-5.
- [6] TERALS [online]. [cit. 2015-05-6]. Dostupné z: <http://www.treals.cz/>
- [7] STEHLÍKOVÁ Lucie *Solární fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2015-05-7]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2009/pdf/1003.pdf>
- [8] TZB-info: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [9] Solární obchod: Sluneční energie [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.solarniobchod.cz/clanek_1.php
- [10] VRÁNA, Jakub. Energetická náročnost budov: Potřeba vody a tepla pro přípravu teplé vody. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov/6839-potreba-vody-a-tepla-pro-pripravu-teple-vody>
- [11] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie. In: [online]. [cit. 2015-05-8]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [12] Jak vybrat sluneční kolektor. [online]. [cit. 2015-05-5]. Dostupné z: <http://www.siea.sk>
- [13] <http://www.mapy.cz> [cit. 2015-05-8]
- [15] LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. *Solární zařízení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. Stavitel. ISBN 80-247-0362-9.
- [16] <http://www.solareconomic.cz/> [cit. 2015-05-15]
- [17] PVGIS, Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> [cit. 2015-05-15]
- [18] KERBEROS, Dostupné z: <http://www.solar-kerberos.cz/cz/co-dela> [cit. 2015-05-15]

Seznam tabulek

- Tab. 2.1. Hodnoty součinitele znečištění
- Tab. 5.1. Specifické spotřeby teplé vody o 60°C podle ČSN EN 15316-3-1
- Tab. 5.2. Tabulka spotřeby energie pro ohřev TUV za jednotlivé měsíce
- Tab. 5.3. Technická specifikace kolektorů KPS11+
- Tab. 5.4. Průměrné hodnoty ozáření pro stanovené plochy
- Tab. 5.5. Reálná zachycená energie plochou m² solárních panelů
- Tab. 5.6 Výsledná potřebná plocha kolektorů v jednotlivých měsících
- Tab. 6.1. Výsledná bilance dle PVGIS pro 4,1 kWp
- Tab. 6.2. Výsledná bilance dle PVGIS pro 2 kWp
- Tab. 6.3. Porovnání průměrných měsíčních hodnot pro jednotlivé databáze
- Tab. 6.4. Zachycená energie 8 a 16 FV panely
- Tab. 7.1. Potřebná energie pro ohřev TVU
- Tab. 7.2. Zachycená energie plochou m² FV panelů
- Tab. 7.3. Zachycená energie navrhovanou plochou kolektoru
- Tab. 7.4. Přebytky a nedostatky v jednotlivých měsících
- Tab. 7.5. Krytí potřebné energie pro ohřev TUV
- Tab. 7.6. Získaná energie 8 FV panely
- Tab. 7.7. Získaná energie 16 FV panely
- Tab. 8.1. Krytí potřeby energie solárními kolektory
- Tab. 8.2. Počet hodin provozu čerpadla
- Tab. 8.3. Získaná energie 16 FV panely
- Tab. 9.1. Emisní faktory v kg / kWh výroby elektrické energie
- Tab. 9.1. Celkové emise pro jednotlivé zdroje pro přípravu TUV

Seznam obrázků

- Obr. 2.1 Možnosti transformace energie
- Obr. 2.2 Geometrie dopadu slunečního záření
- Obr. 2.3. Dopad sluneční energie na plochu m² za jasného dne
- Obr. 3.1. Schéma plochého solárního kolektoru
- Obr. 3.2. Schéma vakuového trubicového solárního kolektoru
- Obr. 4.1. Schéma fotovoltaického článku
- Obr. 5.1. Poloha a umístění rodinného domu
- Obr. 5.2. Schéma akumulční nádrže

Seznam grafů

Graf. 6.1. Elektrická energie vyrobena 8FV panely

Graf. 6.2. Elektrická energie vyrobena 16 FV panely

Graf. 6.3. Reálný výkon a účinnost v závislosti na intenzitě osvětlení

Graf. 6.4. Účinnostní charakteristika vypočtené z polynomu P_{FV}

Graf. 6.5. Výkonová charakteristika vypočtené z polynomu P_{FV}

Graf. 7.1. Porovnání potřebné energie a zisků energie solárními kolektory

Graf. 7.2. Krytí potřebné energie v jednotlivých měsících

Graf. 7.3. Porovnání potřebné a získané energie 8 FV panely pro přípravu TUV

Graf. 7.4. Krytí potřebné energie v jednotlivých měsících 8 FV panely

Graf. 7.5. Porovnání potřebné a získané energie 16 FV panely pro přípravu TUV

Graf. 7.6. Krytí potřebné energie v jednotlivých měsících 16 FV panely

Seznam příloh

Příloha 1 Technický list solárních kolektorů

Příloha 2 Technický list akumulční nádrže

Příloha 3 Report databáze PVgis 2kWp

Příloha 4 Report databáze PVgis 4kWp

Příloha 5 Detail výpočtu

Seznam výkresů

Schéma_01 SCHÉMA

Schéma_02 DISPOZICE